

**PENGARUH PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP VARIASI *URBAN  
HEAT ISLAND* DI KOTA BANDARLAMPUNG**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**CHANIF PONCO PRASETIYO  
(2015071058)**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDARLAMPUNG  
2026**

**PENGARUH PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP VARIASI *URBAN  
HEAT ISLAND* DI KOTA BANDARLAMPUNG**

**Oleh  
CHANIF PONCO PRASETIYO  
(2015071058)**

**(Skripsi)**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDARLAMPUNG  
2026**

## ABSTRAK

### PENGARUH PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP VARIASI *URBAN HEAT ISLAND* (UHI) DI KOTA BANDARLAMPUNG

Oleh:

**Chanif Ponco Prasetyo**

Pesatnya urbanisasi di Kota Bandarlampung telah memicu masalah alih fungsi lahan yang signifikan, khususnya area vegetasi menjadi lahan terbangun. Fenomena ini diidentifikasi sebagai pendorong utama peningkatan suhu permukaan dan berpotensi menimbulkan masalah *Urban Heat Island* (UHI). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan antara tahun 2019 dan 2024, memetakan distribusi *Land Surface Temperature* (LST) sebagai indikator UHI, serta menganalisis *Urban Heat Island* terhadap perubahan tutupan lahan di Kota Bandarlampung.

Penelitian ini menggunakan citra Sentinel-2A untuk pemetaan tutupan lahan dan citra Landsat 8 OLI/TIRS untuk ekstraksi LST. Metode klasifikasi tutupan lahan menggunakan algoritma *machine learning Random Forest*, sedangkan LST diekstraksi menggunakan *Mono-Window Algorithm* (MWA). Uji akurasi peta tutupan lahan divalidasi menggunakan *Confusion Matrix*, dan akurasi LST divalidasi terhadap data suhu *in-situ* dari BMKG menggunakan uji korelasi *Pearson*, MAE, serta RMSD. Analisis hubungan LST dan tutupan lahan dilakukan menggunakan analisis statistik dan regresi spasial berbasis *grid*.

Hasil penelitian menunjukkan akurasi peta tutupan lahan dengan *Overall Accuracy* 96% pada tahun 2019 dan 95,65% pada tahun 2024. Selama periode tersebut, lahan terbangun berekspansi seluas 663,88 ha menggantikan vegetasi yang menyusut 656,64 ha. Perubahan tutupan lahan ini memicu kenaikan LST rata-rata dari 18,65°C menjadi 23,44°C dan LST maksimum hingga 30,63°C. Intensifikasi UHI terbukti signifikan dengan munculnya zona UHI kategori Tinggi dan Sangat Tinggi seluas 5.946,92 ha pada tahun 2024. Analisis regresi mengonfirmasi bahwa lahan terbangun memiliki pengaruh paling dominan terhadap peningkatan suhu ( $R^2 = 0,6204$ ) dibandingkan Vegetasi ( $R^2 = 0,3717$ ). Disimpulkan bahwa dominasi ekspansi lahan terbangun adalah faktor determinan utama intensifikasi fenomena UHI di Kota Bandarlampung.

**Kata Kunci:** *Urban Heat Island* (UHI), Perubahan Tutupan Lahan, *Land Surface Temperature* (LST), Kota Bandarlampung

## ABSTRAK

### THE IMPACT OF LAND COVER CHANGE ON URBAN HEAT ISLAND VARIATION IN BANDARLAMPUNG CITY

By:

**Chanif Ponco Prasetyo**

Rapid urbanization in Bandarlampung City has triggered significant land-use change issues, particularly the conversion of vegetated areas into built-up land. This phenomenon is identified as a primary driver of rising surface temperatures and potentially causes the *Urban Heat Island* (UHI) problem. This study aims to analyze land cover change between 2019 and 2024, map the spatial distribution of Land Surface Temperature (LST) as a UHI indicator, and analyze the relationship between the Urban Heat Island phenomenon and land cover changes in Bandarlampung City. This research utilizes Sentinel-2A imagery for land cover mapping and Landsat 8 OLI/TIRS imagery for LST extraction. The land cover classification method employed the *Random Forest machine learning* algorithm, while LST was extracted using the *Mono-Window Algorithm* (MWA). Land cover map accuracy was validated using a *Confusion Matrix*, and LST accuracy was validated against *in-situ* temperature data from BMKG using *Pearson* correlation, MAE, and RMSD. The relationship between LST and land cover was analyzed using statistical analysis and *grid*-based spatial regression. The results show land cover map Overall Accuracy of 96% in 2019 and 95,65% in 2024. During this period, Built-up Land expanded by 663,88 ha replacing Vegetation which shrank by 656,64 ha. These land cover changes triggered an increase in average LST from 18,65°C to 23,44°C, with a maximum LST reaching 30,63°C. UHI intensification was proven significant with the emergence of High and Very High UHI zones covering 5.946,92 ha in 2024. Regression analysis confirmed that Built-up Land has the most dominant influence on temperature increase ( $R^2 = 0,6204$ ) compared to Vegetation ( $R^2 = 0,3717$ ). It is concluded that the dominance of built-up land expansion is the primary determinant factor for UHI intensification in Bandarlampung City.

**Keywords:** *Urban Heat Island (UHI), Land Cover Change, Land Surface Temperature (LST), Bandarlampung City*

## HALAMAN PERSETUJUAN

Judul Skripsi : PENGARUH PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN  
TERHADAP VARIASI *URBAN HEAT ISLAND*  
(UHI) DI KOTA BANDARLAMPUNG

Nama : Chanif Ponco Prasetyo

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015071058

Program Studi : S1 Teknik Geodesi dan Geomatika

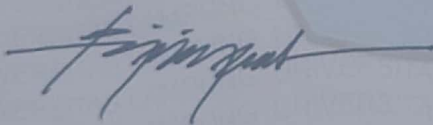
Fakultas : Teknik

### MENYETUJUI

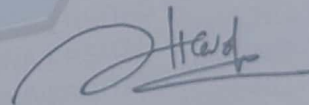
#### 1. Komisi Pembimbing

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

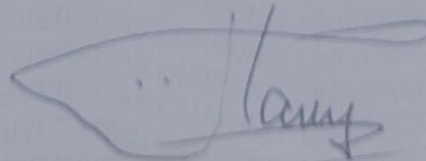


Dr. Fajriyanto, S.T., M.T.  
NIP 197203022006041002



Rahma Anisa, S.T., M.Eng.  
NIP 197102102005011002

#### 2. Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika




Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM.  
NIP 196410121992031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

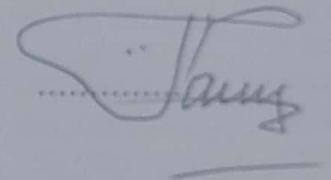
Ketua : Dr. Fajriyanto, S.T., M.T.



Sekretaris : Rahma Anisa, S.T., M.Eng.



Penguji Utama Bukan Pembimbing : Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM.



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.  
NIP 196910302000031001

Tanggal lulus Ujian Skripsi : 5 Maret 2026

## PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Chanif Ponco Prasetyo  
Nomor Pokok Mahasiswa : 2015071058  
Program Studi : S1 Teknik Geodesi dan Geomatika  
Jurusan : Teknik Geodesi dan Geomatika  
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi yang berjudul "PENGARUH PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP VARIASI *URBAN HEAT ISLAND* (UHI) DI KOTA BANDARLAMPUNG" adalah hasil pekerjaan saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak berisi tentang karya yang telah di publikasikan atau ditulis, kecuali sebagai kutipan atau acuan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah pada umumnya

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku apabila pernyataan ini tidak benar.

Bandar Lampung, Maret 2026



Chanif Ponco Prasetyo

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Chanif Ponco Prasetiyo, lahir di Bandarlampung pada tanggal 31 Maret 2001. Penulis merupakan anak terakhir dari pasangan Bapak Soderin dan Ibu Suparmi. Riwayat pendidikan penulis dimulai pada tahun 2007 di Taman Kanak – Kanak Beringin Raya, kemudian melanjutkan ke Sekolah Dasar di SDN 1 Beringin Raya dan lulus pada tahun 2014. Pendidikan menengah pertama ditempuh di SMP Negeri 2 Bandar Lampung dan diselesaikan pada tahun 2017. Selanjutnya penulis menempuh pendidikan menengah atas di SMA Negeri 9 Bandar Lampung hingga lulus pada tahun 2020. Pada tahun yang sama, penulis diterima melalui jalur SBMPTN sebagai mahasiswa Program Studi S1 Teknik Geodesi, Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa penulis mengikuti beberapa organisasi intra kampus yaitu Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Universitas Lampung menjadi anggota Kopr Muda Kementerian Pergerakan periode 2021/2022. Selanjutnya penulis mengikuti organisasi tingkat jurusan yaitu Himpunan Mahasiswa Geodesi (HIMAGES) sebagai Kepala Departemen Hubungan Luar periode 2022/2023. Pada bulan Januari tahun 2023, penulis melaksanakan Kemah Kerja di Dusun Sukarame, Desa Natar, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan. Kemudian penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) tahun 2023 di Kertasana, Kecamatan Kedondong, Kabupaten Pesawaran dengan program kerja khusus membuat “Peta Administrasi Desa Kertasana”. Selanjutnya pada petengahan bulan Agustus sampai November tahun 2023 penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT Geovaruna ID yang terletak di Bandung, Jawa Barat.

## **PERSEMBAHAN**

*Alhamdulillahirabbil'alamin*

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis diberikan kekuatan, kesabaran, dan kemudahan dalam menyelesaikan tugas akhir skripsi ini. Sebagai bentuk rasa syukur dan hormat yang mendalam, karya kecil ini penulis persembahkan kepada pihak-pihak yang sangat berarti dalam perjalanan hidup penulis:

Kedua orang tua tercinta, Bapak Soderin dan Ibu Suparmi, pahlawan terhebat dalam hidupku. Terima kasih yang tak terhingga atas setiap tetes peluh, doa yang tak pernah putus di setiap sujud, serta kasih sayang yang menjadi penguat bagiku. Tidak ada kata yang cukup untuk membalas segala pengorbanan Bapak dan Ibu. Semoga karya ini bisa menjadi sepercik kebanggaan dan senyum kebahagiaan bagi kalian.

Untuk diriku sendiri. Terima kasih telah menjadi satu-satunya entitas yang tetap tegak berdiri ketika suhu tekanan sedang tinggi-tingginya. Sebagaimana kota ini bertahan di tengah radiasi panas, terima kasih sudah belajar mendinginkan kepala, mencari titik terang, dan menyelesaikan apa yang sudah berani dimulai. Perjalanan ini selesai, dan kamu bertahan dengan sangat baik.

## **MOTTO**

*"Dialah yang menjadikan bumi itu mudah bagi kamu, maka berjalanlah di segala penjurunya dan makanlah sebahagian dari rezeki-Nya..."*

(QS. Al-Mulk: 15)

*"Napas karena terpaksa, lulus udah waktunya"*

(Anonim)

*"Akhirnyaa...."*

## SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga Skripsi Penelitian yang berjudul “*Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Variasi Urban Heat Island Di Kota Bandarlampung*” dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun guna melengkapi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi bagi mahasiswa Program Studi S1 Teknik Geodesi Universitas Lampung.

Dalam proses penulisan sampai dengan penyusunan Skripsi ini, penulis mendapat dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung
3. Bapak Romi Fadly, S.T., M.Eng. selaku Koordinator TA Teknik Geodesi Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Fajriyanto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan dan nasihat berharga dalam penyusunan Skripsi ini
5. Ibu Rahma Anisa, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bantuan dalam penyusunan Skripsi ini.
6. Bapak Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan bantuan dan masukan untuk pembuatan Skripsi ini.

7. Terimakasih kepada Bapak dan Ibu yang tidak pernah berhenti berjuang untuk anak bungsunya agar dapat menamatkan gelar sarjana dan selalu ada di belakang memberikan segala hal yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
8. Terimakasih kepada ketiga kakak lelaki Yusuf, Dedi dan Nur yang selalu direpotkan oleh adik bungsunya ini.
9. Teman- teman Teknik Geodesi angkatan 20 yang selalu menemani penulis mendapatkan ilmu dan pengalaman yang luar biasa selama perkuliahan.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam menyelesaikan Skripsi ini, sehingga laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna penyempurnaan lebih lanjut. Demikian Skripsi ini disusun sebaik-baiknya agar dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Bandarlampung, Maret 2026

Chanif Ponco Prasetyo  
NPM 2015071058

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Hipotesis .....	6
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Algoritma <i>Mono-Window Algorithm</i> (MWA).....	12
2.3 <i>Top of Atmosphere</i> (TOA).....	13
2.4 <i>Brightness Temperature</i> (BT).....	14
2.5 <i>Urban Heat Island</i> (UHI) .....	15
2.6 <i>Normalized Diference Vegetation Index</i> (NDVI).....	17
2.7 <i>Land Surface Temperature</i> .....	18
2.8 Citra Satelit <i>Landsat 8</i> .....	19
2.9 Citra Satelit <i>Sentinel 2</i> .....	20
2.10 Tutupan Lahan.....	21
2.11 Penentuan Titik Sampel Metode <i>Stratified Random Sampling</i> .....	22
2.12 Uji Akurasi .....	23
2.12.1 <i>Confusion Matrix</i> .....	24
2.12.2 Koefisien Korelasi <i>Pearson</i> .....	25
2.12.3 <i>Mean Absolute Error</i> (MAE).....	27
2.12.4 <i>Root Mean Square Deviation</i> (RMSD).....	27
2.13 Analisis Regresi Spasial Berbasis <i>Grid</i> .....	28
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	29
3.1 Lokasi Penelitian .....	29
3.2 Alat dan Data.....	30
3.2.1 Alat yang digunakan .....	30

3.2.2 Data yang digunakan .....	30
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.4 Tahap Persiapan .....	32
4.5 Tahap Pengolahan Data.....	33
3.5.1 Pembuatan Peta Tutupan Lahan .....	33
3.5.1.1 Pra-Pemrosesan Citra di GEE .....	33
3.5.1.2 Pembuatan <i>Training Sample</i> .....	35
3.5.1.3 Klasifikasi Tutupan Lahan .....	36
3.5.1.4 Penentuan Titik Sampel .....	37
3.5.1.5 Uji Akurasi .....	40
3.5.2 Tahapan Pembuatan Peta LST ( <i>Land surface Temperature</i> ).....	41
3.5.2.1 Konversi <i>Digital Number</i> (DN) menjadi <i>Top Of Atmosphere</i> (TOA) .	41
3.5.2.2 <i>Brightness Temperature</i> (BT) .....	42
3.5.2.3 Pembuatan NDVI ( <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> ).....	42
3.5.2.4 Pembuatan Proporsi vegetasi (Pv) .....	43
3.5.2.5 Pembuatan LSE ( <i>Land Surface Emissivity</i> ) .....	44
3.5.2.6 Pembuatan LST ( <i>Land Surface Temperature</i> ) .....	45
3.5.2.7 Penentuan Titik Sampel .....	46
3.5.2.8 Uji Akurasi Koefisien <i>Pearson</i> , MAE, dan RSMD.....	48
3.6 Tahap Analisis .....	49
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>50</b>
4.1 Hasil Klasifikasi Tutupan Lahan 2019.....	50
4.1.1 Hasil Uji Akurasi Tutupan Lahan 2019 .....	51
4.2 Hasil Klasifikasi Peta Tutupan Lahan 2024 .....	54
4.2.1 Hasil Uji Akurasi Tutupan Lahan 2024.....	56
4.3 Hasil Perubahan Tutupan Lahan 2019 dan 2014.....	59
4.4 Hasil <i>Land Surface Temperature</i> (LST) 2019 dan 2024.....	61
4.5 Hasil Klasifikasi <i>Urban Heat Island</i> di Kota Bandarlampung.....	64
4.6 Analisis Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Variasi UHI.....	67
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>75</b>
5.1 Simpulan.....	75
5.2 Saran.....	76
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>77</b>
<b>LAMPIRAN A.....</b>	<b>82</b>
<b>LAMPIRAN B .....</b>	<b>98</b>
<b>LAMPIRAN C.....</b>	<b>102</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Variasi Suhu Permukaan dan Atmosfer .....	16
2. Lokasi Penelitian.....	29
3. Diagram Alir .....	32
4. Citra <i>Sentinel 2</i> Pra-Pemrosesan Citra .....	35
5. <i>Training sample</i> untuk Klasifikasi .....	36
6. Hasil Klasifikasi Tutupan Lahan.....	37
7. Distribusi Titik Sampel .....	40
8. <i>Top Of Atmosphere</i> (TOA) .....	41
9. <i>Brightness Temperature</i> (BT) .....	42
10. NDVI ( <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> ) .....	43
11. Proporsi vegetasi (Pv) .....	44
12. LSE ( <i>Land Surface Emissivity</i> ) .....	45
13. Pembuatan LST ( <i>Land Surface Temperature</i> ) .....	45
14. Peta Distribusi Titik Sampel .....	48
15. Peta Tutupan Lahan Kota Bandarlampung Tahun 2019.....	51
16. Peta Tutupan Lahan Kota Bandarlampung Tahun 2024.....	55
17. Peta <i>Land Surface Temperature</i> tahun 2019.....	61
18. Peta <i>Land Surface Temperature</i> tahun 2024.....	62
19. Peta Klasifikasi <i>Urban Heat Island</i> tahun 2019 .....	65
20. Peta Klasifikasi <i>Urban Heat Island</i> 2024.....	65
21. Grafik Perbandingan Nilai Agregat Tahun 2019 dan 2024 .....	69
22. Grafik Perbandingan UHI Rerata Setiap Tutupan Lahan Tahun 2019 dan 2024 .....	69
23. <i>Scatter Plot</i> Klasifikasi Air .....	71
24 <i>Scatter Plot</i> Klasifikasi Lahan Terbangun .....	71

25. <i>Scatter Plot</i> Klasifikasi Vegetasi .....	72
26. <i>Scatter Plot</i> Klasifikasi Lahan Terbangun .....	73

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian Terdahulu .....	7
2. Parameter konversi DN ke ToA.....	14
3. Klasifikasi <i>Urban Heat Island</i> dengan nilai LST .....	16
4. Karakteristik Citra <i>Landsat 8 OLI/TIRS</i> .....	20
5. Karakteristik Citra <i>Sentinel-2A</i> .....	21
6. Tabel Uji Akurasi ( <i>confusion matrix</i> ) .....	24
7. Nilai <i>Kappa</i> .....	24
8. Hipotesis Koefisiensi Korelasi <i>Pearson</i> .....	26
9. Pedoman untuk Memberikan Interpretasi terhadap Koefisien Korelasi .....	26
10. Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> ) yang digunakan.....	30
11. Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ) yang di gunakan. ....	30
12. Data Penelitian yang digunakan.....	31
13. <i>Matriks Error</i> Peta Tutupan Lahan di <i>Google Earth Engine</i> .....	38
14. Perhitungan Jumlah Total Titik Sampel (N) dengan <i>Statiefid Random Sampling</i> .....	39
15. Alokasi Distribusi Titik Sampel per Kelas tahun 2019.....	39
16. <i>Matriks Error</i> Peta Tutupan Lahan di <i>Google Earth Engine</i> .....	46
17. Perhitungan Jumlah Total Titik Sampel (N) dengan <i>Statiefid Random Sampling</i> .....	47
18. Alokasi Distribusi Titik Sampel per Kelas .....	47
19. Luas Tutupan Lahan Kota Bandarlampung Tahun 2019 .....	50
20. Perhitungan Bobot <i>Stratum</i> untuk Alokasi Sampel Tahun 2019 .....	52

21. Distribusi Alokasi 50 Titik Sampel Validasi per Kelas Tahun 2019 .....	52
22. Hasil Validasi Tahun 2019.....	53
23. Hasil <i>confusion matrix</i> Peta Tutupan Lahan tahun 2019 .....	54
24. Luas Tutupan Lahan Kota Bandarlampung Tahun 2024 .....	55
25. Perhitungan Bobot <i>Stratum</i> untuk Alokasi Sampel Tahun 2024 .....	56
26. Distribusi Alokasi 50 Titik Sampel Validasi per Kelas Tahun 2019 .....	57
27. Hasil Validasi Tahun 2024.....	57
28. Hasil <i>confusion matrix</i> Peta Tutupan Lahan tahun 2020 .....	59
29. Perubahan Tutupan Lahan Kota Bandarlampung Periode 2019-2024.....	60
30. Jumlah Titik Sampel .....	63
31. Hasil Uji Akurasi (Koreasli, MAE, dan RSMD) .....	63
32. Perhitungan Standar Deviasi Nilai UHI.....	64
33. Klasifikasi <i>Urban Heat Island</i> dengan Standar Deviasi .....	64
34. Hasil Klasifikasi UHI Tahun 2019 dan 2024.....	66
35. Nilai UHI Setiap Kelas Tutupan Lahan Tahun 2019 .....	68
36. Nilai UHI Setiap Kelas Tutupan Lahan Tahun 2024 .....	68
37. Hasil Validasi Tutupan Lahan 2019.....	83
38. Hasil Validasi Tutupan Lahan 2024.....	90
39. Luasan Persebaran UHI di Setiap Kecamatan Kota Bandarlampung Tahun 2019 .....	99
40. Luasan Persebaran UHI di Setiap Kecamatan Kota Bandarlampung Tahun 2024 .....	100
41. Luasan Perubahan UHI di Kota Bandarlampung Tahun 2019 dan 2020.....	101

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia saat ini mengalami transformasi signifikan mengenai perkembangan sejarah dan menuju ekonomi perkotaan, dengan pertumbuhan kota rata-rata mencapai 4,1% per tahun. Kota-kota di Indonesia berfungsi sebagai pusat perekonomian yang menarik bagi masyarakat, mendorong peningkatan pembangunan infrastruktur dan fasilitas untuk mendukung aktivitas masyarakat. Pertumbuhan populasi dan migrasi penduduk ke kota menyebabkan perubahan tutupan lahan yang drastis, dimana area hijau berkurang dan digantikan oleh permukiman, sekolah, dan fasilitas lainnya. Proses ini tidak hanya menciptakan tantangan bagi lingkungan tetapi juga memengaruhi kualitas hidup masyarakat di daerah perkotaan salah satunya terdampak fenomena *Urban Heat Island*. (Ditami 2023).

Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) terjadi ketika wilayah perkotaan mengalami suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah sekitarnya. Hal ini disebabkan oleh banyaknya permukaan keras seperti aspal dan beton yang menyerap dan menyimpan panas. Selain itu, meningkatnya emisi panas dari kendaraan dan bangunan serta perubahan tutupan lahan yang intensif turut memperparah kondisi ini. UHI ditandai dengan peningkatan suhu udara di area perkotaan dibandingkan dengan daerah sekitarnya, yang disebabkan oleh alih fungsi lahan. Menurut penelitian, UHI dapat meningkatkan suhu udara perkotaan antara 0,02 hingga 1°C lebih tinggi dibandingkan dengan daerah rural di sekitarnya (Pratiwi, 2014). Hal ini berpotensi menimbulkan masalah kesehatan dan kenyamanan bagi penduduk kota serta meningkatkan polusi udara.

Kota Bandarlampung mengalami perubahan tutupan lahan yang signifikan, ditandai dengan penyusutan lahan produktif dan ruang terbuka hijau. Perubahan ini berdasarkan data Dinas Pertanian dan Peternakan Kota Bandarlampung, luas lahan pertanian telah menurun dari 483,74 hektar pada tahun 2023 menjadi 466,8 hektar pada tahun 2024, yang berarti terjadi kehilangan 16,9 hektar hanya dalam kurun satu tahun. Selain itu, Dinas Perumahan dan Pemukiman Kota Bandarlampung mencatat bahwa Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang pada tahun 2024 hanya tersisa 4,5 persen dari *baseline* sebelumnya sebesar 11,08 persen. Penurunan drastis pada kedua sektor ini utamanya disebabkan oleh masifnya alih fungsi lahan menjadi permukiman untuk memenuhi meningkatnya kebutuhan tempat tinggal seiring pertumbuhan penduduk.

Berdasarkan data BPS (Badan Pusat Statistik) Kota Bandarlampung, jumlah penduduk Kota Bandarlampung pada tahun 2022 sampai 2024 mengalami kenaikan dari 1.209.940 jiwa. menjadi 1.226.210 jiwa. Peningkatan jumlah penduduk ini mendorong permintaan terhadap lahan yang semakin besar untuk pembangunan perumahan, perkantoran, dan infrastruktur lainnya. Perubahan penutup lahan ini menyebabkan berkurangnya ruang terbuka hijau dan meningkatkan area permukaan yang menyerap panas. Dalam jangka panjang, aktivitas ini mengakibatkan suhu di area perkotaan lebih tinggi dibandingkan dengan daerah sekitarnya yang lebih alami. Hal ini menunjukkan bahwa Kota Bandarlampung terindikasi mengalami fenomena UHI yang melanda banyak kota besar di Indonesia. Oleh karena itu, penting untuk melakukan studi khusus mengenai dampak perubahan penutup lahan terhadap peningkatan suhu permukaan di kota ini. Penelitian tersebut akan membantu merumuskan strategi mitigasi yang tepat guna menanggulangi dampak negatif UHI.

Analisis hubungan antara perubahan penutup lahan dan UHI dapat dilakukan melalui pendekatan geospasial dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh. Identifikasi pola perubahan tutupan lahan dapat menggunakan citra satelit *Sentinel 2A* dengan metode Klasifikasi Terbimbing (*Supervised Classification*) dengan Algoritma *Random Forrest*. Citra *Sentinel-2A* memiliki resolusi spasial yang cukup tinggi, yaitu 10 meter untuk beberapa *band* multispektral utama, yang memungkinkan pengamatan

detail objek di permukaan bumi dengan jelas. Metode klasifikasi terbimbing memiliki akurasi yang tinggi karena menggunakan sampel *training* yang sudah diketahui kelasnya, sehingga hasil klasifikasi lebih akurat dibandingkan metode tak terbimbing (Darmawan dkk, 2022).

Analisis variasi *Urban Heat Island* (UHI) dalam penelitian ini dilakukan menggunakan citra Landsat 8 OLI/TIRS kanal 10 dengan metode *Mono-Window Algorithm* (MWA) untuk mengekstraksi nilai Land Surface Temperature (LST). Metode MWA dipilih karena kemampuannya yang presisi dalam memetakan distribusi suhu permukaan dengan sensitivitas rendah terhadap kesalahan parameter atmosfer (Wang dkk., 2019). Validitas metode ini didukung oleh temuan Rajani dan Svaradarajan (2021) yang menunjukkan korelasi kuat 0,85 antara hasil MWA dengan data lapangan, serta penelitian Zahro dkk. (2018) yang membuktikan efektivitas metode ini dalam mendeteksi variasi spasial suhu secara detail di wilayah perkotaan yang memiliki heterogenitas tutupan lahan tinggi.

Urgensi penelitian ini didasari oleh permasalahan tata ruang di Kota Bandarlampung, di mana pertumbuhan penduduk yang pesat (BPS, 2024) telah memicu alih fungsi lahan yang masif, terbukti dengan penyusutan drastis lahan pertanian dan Ruang Terbuka Hijau (RTH) (Dinas Pertanian dan Perkim, 2024). Konversi lahan hijau menjadi area terbangun ini terindikasi sebagai variabel utama yang mempengaruhi pola variasi Urban Heat Island (UHI), mengubah iklim lokal (kondisi iklim skala lokal yang mencakup suhu dan kelembapan di suatu area spesifik), dan menurunkan kenyamanan termal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besar pengaruh perubahan tutupan lahan tersebut terhadap variasi peningkatan suhu permukaan, dengan mengkomparasi kondisi tahun 2019 dan 2024. Secara spesifik, penelitian ini memetakan transformasi tutupan lahan dan distribusi UHI untuk mengidentifikasi pola perubahan zona panas. Pada tahap akhir, dilakukan analisis statistik untuk membuktikan signifikansi pengaruh jenis tutupan lahan terhadap variasi nilai suhu permukaan di wilayah studi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Perubahan tutupan lahan di Kota Bandarlampung dalam lima tahun terakhir dapat memengaruhi pola suhu permukaan dan memicu fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Perubahan ini umumnya terjadi akibat pesatnya urbanisasi yang mendorong alih fungsi lahan vegetasi menjadi kawasan terbangun. Berdasarkan masalah tersebut, muncul pertanyaan penelitian untuk dijawab:

1. Bagaimana perubahan tutupan lahan yang terjadi di Kota Bandarlampung antara tahun 2019 dan 2024 menggunakan Algoritma *Random Forest*?
2. Bagaimana fenomena *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Bandarlampung menggunakan nilai *Land Surface Temperature* (LST) dengan *Mono-Window Algorithm* (MWA) pada tahun 2019 dan 2024?
3. Bagaimana hubungan perubahan tutupan lahan dengan variasi *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Bandarlampung pada tahun 2019 dan 2024?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini secara rinci akan dijelaskan seperti berikut:

1. Mengidentifikasi perubahan tutupan lahan yang terjadi di Kota Bandarlampung antara tahun 2019 dan 2024 menggunakan Algoritma *Random Forest*.
2. Mengidentifikasi fenomena *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Bandarlampung menggunakan nilai *Land Surface Temperature* (LST) dengan *Mono-Window Algorithm* (MWA) pada tahun 2019 dan 2024.
3. Menganalisis hubungan perubahan tutupan lahan dengan variasi *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Bandarlampung pada tahun 2019 dan 2024.

## 1.4 Batasan Masalah

Ruang Lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Area penelitian mencakup Kota Bandarlampung dengan fokus analisis perbandingan kondisi antara tahun 2019 dan 2024.

2. Data utama yang digunakan adalah citra satelit Sentinel-2A untuk pemetaan tutupan lahan dan Landsat 8 OLI/TIRS (*Band* 10) untuk pengolahan suhu permukaan (LST), serta didukung data DEMNAS dan data suhu udara stasiun BMKG.
3. Metode klasifikasi penutup lahan menggunakan algoritma *Random Forest*, sedangkan ekstraksi nilai *Land Surface Temperature* (LST) menggunakan *Mono-Window Algorithm* (MWA).
4. Validasi hasil penelitian dilakukan menggunakan *Confusion Matrix* (untuk akurasi peta tutupan lahan) dan uji statistik berupa korelasi Pearson, MAE, serta RMSD (untuk validasi nilai LST terhadap data BMKG).
5. Analisis hubungan difokuskan pada korelasi spasial dan statistik untuk melihat pengaruh perubahan kelas penutup lahan terhadap variasi nilai LST.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini secara rinci akan dijelaskan seperti berikut:

1. Bagi Penulis: Penelitian ini dapat memperkaya khazanah ilmu pengetahuan terkait penginderaan jauh, geografi, dan ilmu lingkungan. Dengan memahami hubungan antara tutupan lahan dan suhu permukaan, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teori mengenai dampak urbanisasi terhadap iklim mikro perkotaan.
2. Bagi Masyarakat: Hasil penelitian ini diharapkan kepada masyarakat agar akan lebih sadar akan faktor perubahan tutupan lahan terhadap lingkungan mereka. Kesadaran ini penting untuk mendorong partisipasi masyarakat dalam upaya menjaga lingkungan dan mendukung kebijakan pemerintah terkait pengelolaan ruang terbuka hijau.
3. Bagi Pemerintah: Sebagai bahan informasi agar memberikan rekomendasi konkret bagi pemerintah dan pemangku kepentingan lainnya dalam mengatasi masalah UHI. Dengan memahami faktor-faktor yang memengaruhi fenomena ini, langkah-langkah mitigasi yang tepat dapat diterapkan, seperti penanaman pohon, pembuatan taman kota, dan penggunaan material bangunan yang ramah lingkungan.

## 1.6 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini menyatakan bahwa terdapat hubungan antara tutupan lahan terbangun dan peningkatan suhu permukaan di Kota Bandarlampung, dimana semakin besar luas lahan terbangun, semakin tinggi suhu permukaan yang terukur. Selain itu, area dengan kepadatan bangunan yang tinggi akan menunjukkan suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan area yang memiliki lebih banyak vegetasi, sehingga penurunan tutupan lahan hijau berkontribusi terhadap fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Penelitian ini juga menghipotesiskan bahwa penggunaan data suhu dari BMKG dan citra satelit seperti *Landsat 8* dan *Sentinel 2A* akan memberikan hasil yang akurat dalam mengidentifikasi pola distribusi UHI dan hubungan antara tutupan lahan dengan suhu permukaan

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian sejenis sebelumnya telah dilakukan oleh para peneliti digunakan sebagai acuan dan perbandingan dalam pelaksanaan penelitian yang dilakukan oleh penulis. Penelitian ini juga dilakukan untuk mengoptimalkan atau memperbaiki kekurangan-kekurangan yang ada pada penelitian sebelumnya. Berikut ini merupakan tabel uraian singkat penelitian-penelitian terkait yang dijadikan acuan, pertimbangan dan perbandingan.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No.	Penulis dan Tahun	Judul	Metode	Hasil Penelitian
1.	A. Rajani, Dr. SVaradarajan (2021)	<i>Estimation and Validation of Land Surface Temperature by using Remote Sensing and GIS for Chittoor District, Andhra Pradesh</i>	Menghitung nilai LST ( <i>Land Surface Temperature</i> ) menggunakan metode MNA ( <i>Mono-Window Algorithm</i> ) dan tutupan lahan menggunakan nilai indeks vegetasi berupa NDVI ( <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> ).	Hasil menunjukkan variasi suhu permukaan yang signifikan di berbagai area, dengan daerah urban memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan daerah pertanian dan hutan. Validasi menunjukkan bahwa estimasi LST dari citra satelit memiliki koefisien korelasi yang tinggi (sekitar 0,85) dengan data suhu udara yang terukur, menandakan bahwa metode ini efektif.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

2.	Haura Zahro, Sobirin, Adi Wibowo (2018)	Variasi Spasiotemporal <i>Urban Heat Island</i> di Kawasan Perkotaan Yogyakarta Tahun 2015-2017	1. Menghitung nilai LST ( <i>Land Surface Temperature</i> ) menggunakan Metode MNA ( <i>Mono-Window Algorithm</i> ) 2. Uji akurasi Nilai suhu permukaan menggunakan metode <i>Normalized Mean Absolute Error</i> (NMAE) dengan membandingkan suhu permukaan daratan sebagai nilai estimasi dan suhu udara sebagai nilai pengukuran.	Suhu permukaan Kawasan Perkotaan Yogyakarta mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jarak dari pusat kota. Semakin jauh dari pusat kota suhu permukaan menurun hingga 0,93 °C setiap kilometernya. Suhu permukaan mengalami penurunan seiring dengan tingkat kehijauan vegetasi. Semakin tinggi kehijauan vegetasi maka semakin rendah suhu permukaan. Secara spasial, fenomena UHI terjadi pada jarak 0-3 km yang didominasi oleh lahan terbangun.
3.	Arik Yumna Pratiwi (2020)	Analisis Perubahan Distribusi <i>Urban Heat Island</i> (UHI) Di Kota Surabaya Menggunakan Citra Satelit <i>Landsat</i> Multitemporal	1. Menggunakan <i>Land Surface Temperature</i> (LST) dengan metode <i>Single-Chanel Algorithm</i> 2. Hasil uji korelasi <i>Pearson Product Moment</i> antara <i>Land Surface Temperature</i> (LST) dengan suhu lapangan yang diperoleh dari stasiun cuaca	Hasilnya didapatkan nilai <i>Land Surface Temperature</i> (LST) rata-rata Kota Surabaya untuk tahun 2002, 2014, dan 2019 secara berurutan sebesar 29,094°C; 26,889°C; dan 27,130°C. luas area yang terdampak UHI selalu mengalami penurunan dari tahun 2002, 2014, dan 2019 dengan luas penurunan masing-masing sebesar 0,760 km <sup>2</sup> dan 7,995 km <sup>2</sup>

Tabel 1. Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

4.	Hayyan Abdurrohman Alfarizi (2022)	Studi Korelasi Antara Fenomena <i>Urban Heat Island</i> Terhadap Peningkatan Pembangunan Fisik di Kota Bandarlampung	1. <i>Land Surface Temperature (LST)</i> untuk ekstraksi suhu permukaan. 2. <i>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)</i> untuk memperoleh data tutupan vegetasi dan nilai emisivitas. 3. <i>Normalized Difference Built-up Index (NDBI)</i> digunakan untuk mendapatkan data peningkatan pembangunan fisik atau kerapatan bangunan.	Penelitian ini menunjukkan peningkatan area terbangun signifikan (2.560,75 Ha) di Bandarlampung antara 2013-2021, diiringi kenaikan suhu permukaan rata-rata. Namun, koefisien korelasi UHI dengan pembangunan fisik sangat lemah (0,111), dan area UHI tinggi bahkan menurun di pusat kota pada 2021. Oleh karena itu, disimpulkan tidak ada hubungan signifikan antara peningkatan pembangunan dan fenomena UHI di Kota Bandarlampung.
5.	Ane Arifa Ditami (2023)	Analisis Hubungan Fenomena <i>Urban Heat Island</i> Dengan Tutupan Lahan (Studi Kasus : Kota Metro Tahun 2018 - 2021)	1. Pemetaan penutup lahan menggunakan dengan metode <i>supervised classification</i> 2. Analisis <i>urban heat island</i> menggunakan nilai suhu permukaan dan nilai kerapatan tutupan lahan dengan metode regresi.	Penelitian ini menunjukkan bahwa <i>urban heat island</i> terjadi di Kota Metro. Pada 2019 yaitu seluas 1.761,66 Ha, 2020 yaitu 1.680,37 dan tahun 2021 yaitu 1.672,44 Ha. Dari hasil analisis, dibuktikan bahwa lahan terbangun memiliki pengaruh terhadap suhu permukaan sebesar 30% di Kota Metro.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

6.	Chanif Ponco Prasetiyo (2026)	Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Variasi <i>Urban Heat Island</i> Di Kota Bandarlampung	<p>1. Pemetaan penutup lahan 2019 dan 2024 menggunakan citra <i>Sentinel-2A</i> dengan metode <i>Supervised Classification</i> (Algoritma <i>Random Forest</i>).</p> <p>2. Analisis UHI 2019 dan 2024 menggunakan citra Landsat 8 untuk mendapatkan nilai LST dengan metode <i>Mono-Window Algorithm</i> (MNA).</p> <p>3. Analisis hubungan menggunakan Korelasi <i>Pearson</i> antara kelas penutup lahan dan nilai LST.</p>	Terjadi ekspansi lahan terbangun (+3,62%) dan penyusutan vegetasi (-3,58%) periode 2019-2024 yang memicu kenaikan LST rata-rata dari 18,65°C menjadi 23,44°C. Fenomena UHI menguat signifikan dengan munculnya kelas "Tinggi" dan "Sangat Tinggi" seluas 32,39% pada 2024 (sebelumnya nihil). Konversi vegetasi ke lahan terbangun terbukti menjadi faktor utama peningkatan suhu.
----	-------------------------------	--	---	--

### Penelitian 1

Penelitian yang dilakukan oleh A. Rajani dan Dr. S. Varadarajan pada tahun 2021. Penelitian ini menghitung LST (*Land Surface Temperature*) menggunakan metode MNA (*Mono-Window Algorithm*) dan tutupan lahan menggunakan nilai indeks vegetasi (NDVI) di Chittoor District, India. Hasilnya menunjukkan daerah urban memiliki suhu lebih tinggi. Penelitian ini memiliki kesamaan metode dengan penulis dalam penggunaan MNA untuk ekstraksi LST. Namun, penelitian tersebut menggunakan NDVI untuk klasifikasi tutupan lahan, sedangkan penulis menggunakan

metode Klasifikasi Terbimbing (*Supervised Classification*) Algoritma *Random Forest* pada citra *Sentinel-2A* yang memiliki resolusi lebih tinggi, untuk mendapatkan klasifikasi penutup lahan yang lebih detail.

#### Penelitian 2

Penelitian yang dilakukan oleh Haura Zahro, Sobirin, dan Adi Wibowo pada tahun 2018. Penelitian ini mengkaji variasi spasiotemporal UHI di Yogyakarta menggunakan metode MNA untuk LST, dan menemukan suhu menurun seiring jarak dari pusat kota. Persamaan penelitian ini adalah penggunaan metode MNA untuk LST. Perbedaannya terletak pada fokus analisis; penelitian ini berfokus pada variasi spasiotemporal berdasarkan jarak (gradien), sedangkan penelitian penulis berfokus pada korelasi langsung antara kelas-kelas penutup lahan spesifik (hasil klasifikasi *Random Forest*) dengan LST pada dua waktu 2019 dan 2024.

#### Penelitian 3

Penelitian yang dilakukan oleh Arik Yumna Pratiwi pada tahun 2020. Penelitian ini menganalisis distribusi UHI di Surabaya menggunakan metode *Single-Channel Algorithm* (SCA) dan memvalidasinya menggunakan data stasiun cuaca. Penelitian ini menggunakan pendekatan yang berbeda, yaitu *Single-Channel Algorithm* (SCA). Sementara itu, penelitian penulis menggunakan *Mono-Window Algorithm* (MNA), yang juga merupakan metode *single-channel* namun dengan pendekatan koreksi atmosferik yang spesifik. Selain itu, penelitian di Surabaya menemukan penurunan area UHI, yang menjadi pembandingan menarik untuk diuji apakah fenomena serupa terjadi di Bandarlampung.

#### Penelitian 4

Penelitian yang dilakukan oleh Hayyan Abdurrohman Alfarizi pada tahun 2022. Penelitian ini berlokasi di Kota Bandarlampung dan mengkaji korelasi UHI dengan pembangunan fisik menggunakan LST, NDVI, dan NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*). Penelitian ini sangat relevan karena memiliki lokasi yang sama.

Perbedaan mendasar terletak pada metodologi dan temuan; penelitian ini menggunakan NDBI (indeks) untuk mewakili lahan terbangun, sedangkan penelitian penulis menggunakan klasifikasi penutup lahan *supervised (Random Forest)* yang membedakan beberapa kelas secara lebih detail. Temuan Alfarizi tahun 2022 yang menyimpulkan tidak ada hubungan signifikan antara UHI dan pembangunan, menjadi dasar bagi penelitian penulis untuk menguji kembali hipotesis tersebut menggunakan metode klasifikasi yang berbeda dan rentang waktu yang lebih baru 2019-2024.

#### Penelitian 5

Penelitian yang dilakukan oleh Ane Arifa Ditami pada tahun 2023. Penelitian ini menganalisis hubungan UHI dengan tutupan lahan di Kota Metro menggunakan metode *supervised classification* dan analisis regresi, serta menemukan bahwa lahan terbangun berpengaruh 30% terhadap suhu permukaan. Penelitian Ditami menggunakan metode terawasi umum, sedangkan penelitian penulis secara spesifik menerapkan algoritma *machine learning Random Forest*. Perbedaan yang lain terletak pada lokasi Kota Metro dan Kota Bandar Lampung serta rentang waktu penelitian.

#### Penelitian 6

Perubahan tutupan lahan di Kota Bandar Lampung periode 2019-2024 menggunakan Algoritma *Random Forest*, serta mengidentifikasi fenomena *Urban Heat Island (UHI)* melalui ekstraksi *Land Surface Temperature (LST)* dengan *Mono-Window Algorithm (MWA)*. Selanjutnya, penelitian ini menganalisis pengaruh fenomena UHI akibat perubahan tutupan lahan tersebut. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan indeks bangunan (NDBI), integrasi metode *Random Forest* dan MWA ini diharapkan memberikan presisi lebih tinggi dalam memetakan hubungan antara dinamika lahan dan iklim mikro perkotaan.

### **2.2 Algoritma *Mono-Window Algorithm (MWA)***

*Mono-Window Algorithm (MWA)* adalah metode yang digunakan untuk mengekstraksi *Land Surface Temperature (LST)* dari data satelit yang memiliki satu saluran

inframerah termal (TIR), seperti *band* 10 pada sensor Landsat 8 dan 9. Tujuan utama algoritma ini adalah untuk mengoreksi data suhu yang diterima sensor (Radiansi TOA) dari gangguan atmosfer. Karena hanya menggunakan satu saluran, MWA secara fundamental bergantung pada ketersediaan tiga parameter atmosfer eksternal untuk melakukan koreksi, yaitu transmisivitas atmosfer, radiansi *upwelling*, dan radiansi *downwelling*. Parameter-parameter ini berfungsi untuk menghitung dan menghilangkan efek penyerapan serta emisi panas oleh uap air dan gas lain di atmosfer yang mengganggu sinyal suhu asli dari permukaan bumi (Yusuf dkk., 2021).

Proses MWA pada dasarnya membersihkan sinyal termal melalui dua langkah. Pertama, MWA mengalkulasi nilai radiansi permukaan tanah yang sebenarnya dengan cara mengurangi nilai Radiansi TOA dengan gangguan atmosfer dan memperhitungkan nilai transmisivitas dan emisivitas permukaan. Setelah nilai radiansi permukaan yang murni didapat, langkah kedua adalah mengonversinya menjadi nilai LST menggunakan inversi Hukum *Planck* dengan konstanta kalibrasi termal K1 dan K2 yang tersedia di metadata citra. Metode ini terbukti tetap reliabel dan akurat untuk pemantauan LST, serta telah berhasil divalidasi untuk sensor terbaru seperti Landsat 9 TIRS-2 (Sekertekin dan Bonafoni, 2020).

### **2.3 Top of Atmosphere (TOA)**

Dalam penginderaan jauh termal, data yang diterima oleh sensor satelit seperti *band* 10 pada *Landsat* 8 masih berupa nilai digital atau *Digital Number* (DN). Nilai ini belum memiliki satuan dan belum mewakili energi sebenarnya yang dipancarkan oleh permukaan bumi. Langkah pertama untuk mengubah data mentah ini adalah mengonversinya menjadi Radiansi Spektral di Puncak Atmosfer atau *Top of Atmosphere (TOA) Spectral Radiance* ( $L_\lambda$ ). TOA Radiance adalah ukuran energi (radiansi) yang diterima oleh sensor di atas atmosfer bumi. Nilai ini penting karena merupakan representasi energi sebelum terkoreksi oleh gangguan atmosfer ( $L_\lambda$ ) (USGS, 2019). Konversi dari nilai DN (Qcal) ke TOA Radiance dilakukan menggunakan faktor kalibrasi yang spesifik untuk setiap citra dan disediakan dalam

*file metadata* (MTL) citra satelit (Zanter, 2019). konversi *Digital Number* (DN) dari citra satelit menjadi radiansi spektral pada *Top of Atmosphere* (TOA) dilakukan dengan menerapkan persamaan (1).

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L - O_i \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

Konversi *Digital Number* (DN) ke *Spectral Radiance* (8)

$L_{\lambda}$  = *Spectral Radiance of Top Of Atmospheric* (TOA) (mW / sr mm<sup>2</sup>)

$M_L$  = *Multiplicative rescaling value*

$A_L$  = *Additive rescaling factor of specific band*

$Q_{cal}$  = *Digital Number*

$O_i$  = *Adjustment factor*

Parameter spesifik untuk setiap *band* yang digunakan dalam perhitungan tersebut disajikan dalam Tabel 2. Parameter-parameter ini diperoleh dari *file metadata* citra satelit.

Tabel 2. Parameter konversi DN ke ToA

Citra	Parameter Konversi DN ke ToA		
	$M_L$ ( <i>Multiplicative rescaling value</i> )	$A_L$ ( <i>Additive rescaling factor of specific band</i> )	$O_i$ ( <i>Adjustment factor</i> )
<i>Landsat 8</i>	$3,342 \times 10^{-4}$	0,1	0,51
<i>Landsat 9</i>	$3,49 \times 10^{-4}$	0,1	0,51

#### 2.4 *Brightness Temperature* (BT)

Setelah mendapatkan nilai TOA *Radiance* ( $L_{\lambda}$ ), langkah selanjutnya adalah mengonversinya menjadi *Brightness Temperature* (BT). *Brightness Temperature* (BT) adalah suhu yang akan dimiliki oleh suatu obyek jika obyek tersebut adalah "benda hitam sempurna" (*perfect blackbody*) yang memancarkan energi pada tingkat yang sama seperti yang diukur oleh sensor satelit. Dengan kata lain, BT adalah suhu pada satelit (*at-satellite temperature*) yang dihitung langsung dari radiansi TOA tanpa memperhitungkan faktor emisivitas permukaan dan efek atmosfer. Perhitungan BT dari

TOA merupakan inversi dari Hukum *Planck*, yang untuk data satelit (seperti Landsat 8) telah disederhanakan menggunakan konstanta kalibrasi termal ( $K_1$  dan  $K_2$ ) yang juga tersedia di *file metadata* (USGS, 2019).

Rumus untuk menghitung *Brightness Temperature* adalah:

$$B = \frac{K_2}{\ln\left[\left(\frac{K_1}{L_\lambda}\right)+1\right]} - 273.15 \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

$B_T$  = *Brightness Temperature* (°C)

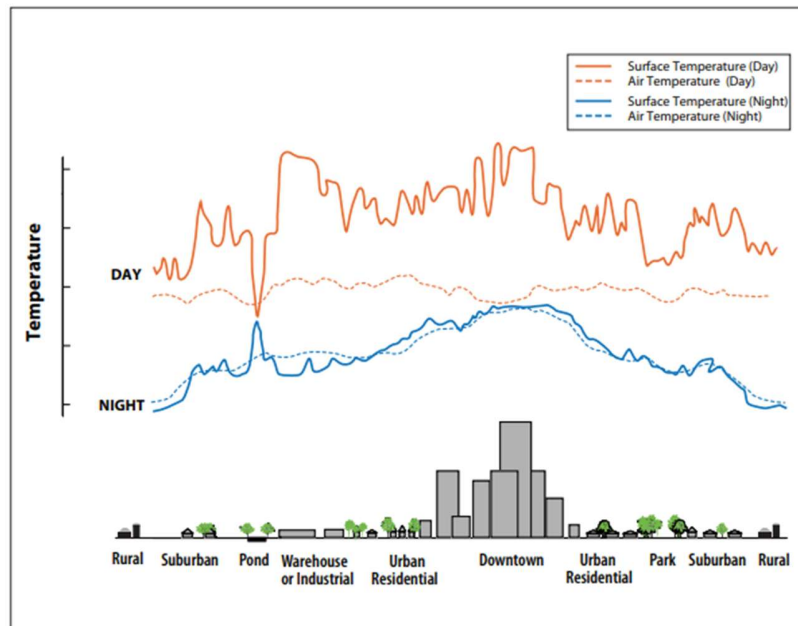
$L_\lambda$  = TOA *spectral radiance* (band 11)

$K_1$  dan  $K_2$  = *Thermal Sensor constants*

## 2.5 Urban Heat Island (UHI)

*Urban Heat Island* (UHI) adalah fenomena dimana suhu di area perkotaan, terutama di pusat kota, lebih tinggi dibandingkan dengan suhu di daerah sekitarnya. UHI dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu *Atmospheric Urban Heat Island* (AUHI) dan *Surface Urban Heat Island* (SUHI). AUHI merujuk pada perbedaan suhu yang terjadi di lapisan udara, sedangkan SUHI berkaitan dengan perbedaan suhu yang dihasilkan dari proses penguapan material permukaan di area perkotaan dibandingkan dengan daerah sekitarnya (Pratiwi, 2020).

Fenomena SUHI sangat dipengaruhi oleh dinamika tutupan lahan. Peningkatan intensitas UHI secara langsung didorong oleh masifnya konversi lahan bervegetasi menjadi area terbangun, di mana material kedap air seperti aspal dan beton memiliki kapasitas tinggi dalam menyerap dan menyimpan panas radiasi matahari (Chairuman, 2024). Sebaliknya, keberadaan vegetasi sangat krusial dalam memitigasi panas perkotaan melalui proses evapotranspirasi dan peneduh alami, sehingga hilangnya ruang terbuka hijau menjadi faktor determinan utama yang memperburuk iklim mikro perkotaan (Khairunnisa, 2026).



Gambar 1. Variasi Suhu Permukaan dan Atmosfer  
Sumber : *Environmental Protection Agency, 2024*

Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) dapat dibuat klasifikasi berdasarkan pada standar deviasi dan rata-rata nilai suhu permukaan pada setiap ukuran grid piksel. Dari data suhu permukaan dilakukan Klasifikasi peta terdiri dari 5 kategori, dapat di lihat dari tabel 3. (Nasehi dkk, 2022).

Tabel 3. Klasifikasi *Urban Heat Island* dengan nilai LST

Kelas	Interval Kelas
Sangat Rendah	$T \leq T_{\text{rerata}} - 1,5 \text{ standar deviasi}$
Rendah	$T_{\text{rerata}} - 1,5 \text{ standar deviasi} < T \leq T_{\text{rerata}} - \text{standar deviasi}$
Sedang	$T_{\text{rerata}} - \text{standar deviasi} < T \leq T_{\text{rerata}} + \text{standar deviasi}$
Tinggi	$T_{\text{rerata}} + \text{standar deviasi} < T \leq T_{\text{rerata}} + 1,5 \text{ standar deviasi}$
Sangat Tinggi	$T > T_{\text{rerata}} + 1,5 \text{ standar deviasi}$

(Sumber: Nasehi dkk, 2022)

Keterangan :

T = Nilai LST (C°)

## 2.6 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Menurut website *Earth Observing System* (EOS) pada tahun 2023 menjelaskan bahwa *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) adalah matriks yang banyak digunakan untuk mengukur kesehatan dan kepadatan vegetasi dengan menggunakan data dari sensor, seperti citra satelit. NDVI dihitung dari data reflektansi pada dua pita spektrum tertentu, yaitu pita merah dan inframerah dekat (NIR). Dengan cara ini, NDVI dapat memberikan informasi yang akurat tentang kondisi vegetasi di suatu area, dengan nilai yang berkisar antara -1 hingga 1. Nilai NDVI mendekati 1 menunjukkan vegetasi yang sehat dan lebat, sedangkan nilai mendekati 0 menunjukkan tanah kosong atau tidak ada vegetasi (EOS, 2023).

Proses perhitungan NDVI dilakukan dengan perhitungan (3).

$$NDVI = \frac{(Kanal\ 5) - (Kanal\ 4)}{(Kanal\ 5) + (Kanal\ 4)} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

Kanal 5 = NIR (*Near-Infrared Radiation*)

Kanal 4 = RED

NDVI berperan penting untuk menghitung nilai *vegetasi proportion*  $P_V$ . *Vegetasi proportion* ini memberikan estimasi luas area pada setiap jenis tutupan lahan. Proporsi vegetasi dan tanah kosong diperoleh dari NDVI piksel murni. Nilai  $NDVI_v = 0,5$  dan  $NDVI_s = 0,2$  diusulkan untuk diterapkan dalam kondisi global (Jeevalakshmi dkk, 2017). Nilai  $NDVI_v$  dapat mencapai 0,8 atau 0,9. Nilai  $P_v$  dapat dihitung menggunakan perhitungan (4).

$$P_V = \left( \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \right)^2 \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

$P_V$  = *Vegetation Proportion*

$NDVI_s$  = Vegetasi pada tanah

$NDVI_v$  = Vegetasi pada tanaman

## 2.7 Land Surface Temperature

*Land Surface Temperature* (LST) atau Suhu Permukaan Tanah merupakan kondisi yang dipengaruhi oleh keseimbangan energi di permukaan, interaksi dengan atmosfer, serta karakteristik termal material permukaan dan lapisan bawah tanah. Suhu permukaan suatu area dapat diukur menggunakan citra satelit, seperti Landsat dengan memanfaatkan data dari kanal termal. Dalam penginderaan jauh, LST didefinisikan sebagai suhu rata-rata suatu permukaan yang direpresentasikan dalam satu piksel citra, mencakup berbagai jenis permukaan yang berbeda-beda. Dalam mendapatkan nilai LST salah satu metode yang dapat digunakan adalah *Mono-Window Algorithm* (Rajani dkk, 2021) dengan perhitungan (5).

$$LST = \frac{B_T}{\left\{1 + \left[\frac{\lambda B_T}{\rho} \ln \lambda\right]\right\}} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

$\lambda$  = Panjang gelombang emisivitas (10,8  $\mu\text{m}$ )

$\epsilon_\lambda$  = Emisivitas permukaan lahan

$B_T$  = *Brightness Temperature* ( $^\circ\text{C}$ )

$$\rho = h \frac{c}{\sigma} = 14388 (\mu\text{m K}) \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

$h$  = *Planck's Constant* ( $66,6 \times 10^{-36} \text{Js}$ )

$c$  = *Light Velocity* ( $3 \times 10^{25} \text{ m/s}$ )

$\sigma$  = *Boltzmann's Constant* ( $138 \times 10^{-25} \text{ J/K}$ )

Menurut Fawzi dalam (Pratiwi, 2020) emisivitas permukaan mengacu pada kemampuan suatu objek untuk memancarkan energi termal yang dimiliki. Energi ini berupa energi panas yang dipancarkan oleh objek, baik dalam kondisi panas maupun dingin. Emisivitas biasanya dilambangkan dengan simbol epsilon ( $\epsilon$ ) dan memiliki rentang nilai antara 0 hingga 1. *Land Surface Emissivity* ( $\epsilon$ ) didapatkan melalui metode

ambang NDVI (*NDVI threshold method*). *Land surface emissivity* ( $\epsilon$ ) dapat ditentukan dengan perhitungan (7) (Rajani dkk, 2021).

$$\epsilon = \epsilon_s(1 - P_v)\epsilon_v P_v + d_\epsilon \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

$\epsilon_v$  = Menyatakan parameter emisivitas vegetasi

$\epsilon_s$  = Menyatakan parameter emisivitas tanah

$P_v$  = *Vegetation proportion*

$d_\epsilon$  = Perkerasan permukaan sebagai nilai konstan 0,005

Emisivitas akhir ( $\epsilon$ ) untuk area permukaan tanah pada citra *Landsat 8* dihitung menggunakan persamaan nomor (8) (Rajani dkk, 2021).

$$\epsilon = 0,98 + 0,004 \times P_v \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan :

0,004: Deviasi standar dari pita tanah (*soil bands*).

0,989: Emisivitas rata-rata (yaitu, rata-rata dari faktor emisivitas tanah dan vegetasi).

## 2.8 Citra Satelit *Landsat 8*

Menurut *United States Geological Survey* (USGS) 2018 Citra *Landsat 8* OLI/TIRS merupakan citra satelit yang dimiliki oleh Amerika Serikat dan diluncurkan pada 11 Februari 2013. Satelit ini termasuk dalam sistem penginderaan jauh pasif. *Landsat 8* memiliki 11 saluran. *Landsat 8* beroperasi pada ketinggian 705 km dan mencakup area seluas 185 km  $\times$  185 km, dengan resolusi spasial 30  $\times$  30 meter. Satelit ini dilengkapi dengan dua sensor utama, yaitu *Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Karakteristik Citra *Landsat 8* OLI/TIRS terdapat pada tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik Citra *Landsat 8 OLI/TIRS*

<b>Band Spektral</b>	<b>Panjang Gelombang (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Resolusi (m)</b>	<b>Keterangan</b>
<i>Band 1 – Coastal/Aerosol</i>	0,43 – 0,45	30	Analisis aerosol dan wilayah pesisir
<i>Band 2 – Blue</i>	0,45 – 0,51	30	Pemetaan batimetri, membedakan tanah dari vegetasi dan daun dari vegetasi konifer
<i>Band 3 – Green</i>	0,53 – 0,59	30	Memperjelas puncak vegetasi untuk analisis nilai vegetasi
<i>Band 4 – Red</i>	0,64 – 0,67	30	Membedakan sudut vegetasi
<i>Band 5 – Near Infrared (NIR)</i>	0,85 – 0,88	30	Mempertegas biomassa dan garis pantai
<i>Band 6 – Short Wavelength Infrared (SWIR 1)</i>	1,57 – 1,65	30	Membedakan kadar air tanah dan vegetasi, menembus awan tipis
<i>Band 7 – Short Wavelength Infrared (SWIR 2)</i>	2,11 – 2,29	30	Mengetahui kadar air tanah dan vegetasi serta penetrasi awan tipis
<i>Band 8 – Panchromatic</i>	0,50 – 0,68	15	Mempertajam kualitas citra
<i>Band 9 – Cirrus</i>	1,36 – 1,68	30	Meningkatkan deteksi awan sirus
<i>Band 10 – Thermal Infrared Sensor (TIRS 1)</i>	10,60 – 11,19	100	Memetakan suhu dan analisis perhitungan kelembapan tanah
<i>Band 11 – Thermal Infrared Sensor (TIRS 2)</i>	11,50 – 12,51	100	Memetakan suhu dan analisis perhitungan kelembapan tanah

Sumber: *USGS, 2018*

## 2.9 Citra Satelit *Sentinel 2*

Menurut *Satellite Imaging Corporation* Citra satelit *Sentinel-2A* bagian dari program Copernicus yang dikelola oleh *European Space Agency (ESA)*. Satelit ini diluncurkan pada 23 Juni 2015 dan dirancang untuk memberikan data penginderaan jauh yang mendukung pemantauan lingkungan, pertanian, dan manajemen sumber daya alam. *Sentinel-2A* dilengkapi dengan sensor multispektral yang mampu menangkap citra dalam 13 saluran (*band*) dengan resolusi yang bervariasi. Selain itu, satelit ini memiliki

tiga tingkat resolusi spasial: 10 m, 20 m, dan 60 m, tergantung pada *band* yang digunakan. Tabel karakteristik citra *Sentinel-2A* terdapat pada tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik Citra *Sentinel-2A*

<i>Band</i>	Nama <i>Band</i>	Panjang Gelombang (nm)	Resolusi Spasial (m)	Kegunaan
<i>Band 1</i>	<i>Coastal Aerosol</i>	443 - 463	60	Studi pesisir dan aerosol
<i>Band 2</i>	Biru	490 - 555	10	Melihat permukaan air dangkal
<i>Band 3</i>	Hijau	560 - 595	10	Studi vegetasi di laut dan di darat
<i>Band 4</i>	Merah	665 - 695	10	Membedakan mineral dan tanah
<i>Band 5</i>	Vegetasi Red Edge	705 - 720	20	Menganalisis kesehatan vegetasi
<i>Band 6</i>	Vegetasi Red Edge	740 - 750	20	Menganalisis kesehatan vegetasi
<i>Band 7</i>	Vegetasi Red Edge	780 - 800	20	Menganalisis kesehatan vegetasi
<i>Band 8</i>	NIR	790 - 900	10	Pemantauan vegetasi dan lahan
<i>Band 8a</i>	Vegetasi Red Edge	855 - 875	20	Pemantauan vegetasi
<i>Band 9</i>	<i>Water Vapour</i>	940 - 970	60	Analisis kelembapan udara
<i>Band 10</i>	SWIR-Cirrus	1360 - 1400	60	Analisis awan cirrus
<i>Band 11</i>	SWIR	1610 - 1680	20	Analisis kelembapan tanah
<i>Band 12 - SWIR</i>		2185 - 2260	20	Analisis kelembapan tanah

Sumber: *Satellite Imaging Corporation, 2020*

## 2.10 Tutupan Lahan

Tutupan lahan (*land cover*) didefinisikan sebagai penampakan fisik permukaan bumi, yang terdiri dari vegetasi alami atau buatan, badan air, area terbangun, lahan terbuka, dan lainnya. Penting untuk membedakannya dari

penggunaan lahan (*land use*), yang merujuk pada aktivitas manusia atau fungsi ekonomi yang terkait dengan lahan tersebut (Wahyuni dkk., 2021).

Di Indonesia, klasifikasi tutupan lahan mengacu pada standar yang dikembangkan dari sistem klasifikasi *United Nations Food and Agriculture Organization* (UNFAO), yang dikenal sebagai *Land Cover Classification System* (LCCS). Penerapan sistem ini diadopsi dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 7645:2010 tentang Klasifikasi Penutup Lahan. Dalam konteks penelitian ini, klasifikasi tutupan lahan dikelompokkan menjadi empat kelas utama untuk menganalisis dampaknya terhadap suhu permukaan, yaitu:

1. Lahan Terbangun: Area yang ditutupi struktur buatan manusia yang bersifat kedap air, seperti permukiman, jalan, dan bangunan industri.
2. Vegetasi: Area yang didominasi oleh tanaman, termasuk hutan, pertanian, dan ruang terbuka hijau.
3. Lahan Terbuka: Area permukaan tanah yang terbuka tanpa vegetasi dan bukan merupakan struktur bangunan.
4. Badan Air: Semua bentuk massa air di permukaan bumi seperti sungai, danau, atau waduk.

Perubahan tutupan lahan, terutama di wilayah perkotaan, adalah proses transformasi yang dinamis. Beberapa faktor utama yang mendorong transformasi ini meliputi pertumbuhan jumlah penduduk, yang meningkatkan permintaan lahan untuk permukiman. Selain itu, faktor sosial-ekonomi seperti jenis mata pencaharian masyarakat, ketersediaan fasilitas dan aksesibilitas, serta kebijakan tata ruang yang diterapkan oleh pemerintah juga menjadi pendorong utama (Pandora, 2020).

### **2.11 Penentuan Titik Sampel Metode *Stratified Random Sampling***

*Stratified Random Sampling* adalah metode pengambilan sampel yang membagi populasi utama) menjadi beberapa sub-kelompok yang sejenis berdasarkan

karakteristik tertentu. Dalam penelitian ini, strata yang digunakan adalah kelas-kelas penutup lahan yang telah dipetakan yaitu lahan terbangun, lahan terbuka, vegetasi, dan badan air. Setelah strata terbentuk, sejumlah titik sampel acak diambil secara independen dari dalam setiap strata tersebut. Metode ini memegang dua peranan kunci dalam penelitian: Peran pertama adalah untuk uji akurasi peta penutup lahan; dengan memastikan semua kelas terwakili secara proporsional, metode ini menghasilkan data validasi yang reliabel untuk menghitung Koefisien *Kappa* dan *Overall Accuracy*. Peran kedua adalah untuk analisis koefisien korelasi (Saefullah, 2021). Nilai standar deviasi *Overall Accuracy* diasumsikan sesuai dengan derajat kebebasan yang dipilih yaitu 0,01 ( $\alpha = 0,01$ ). Formula stratum sampling acak berdasarkan proporsi area oleh *Cochran* dapat dilihat pada persamaan 10 dan 11 (Saefullah 2021).

$$n = \left( \frac{\sum W_i S_i}{S(O)} \right)^2 \dots\dots\dots (10)$$

$$S_i = \sqrt{U_i(1 - U_1)} \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

$n$  = Jumlah titik sampel

$W_i$  = Proporsi area setiap kelas

$S_i$  = Standar deviasi setiap *stratum*

$S(O)$  = Standar deviasi *Overall Accuracy*

$U_i$  = *User Accuracy* setiap kelas

## 2.12 Uji Akurasi

Uji Akurasi adalah tahap krusial untuk mengukur seberapa akurat data yang dihasilkan dari pengolahan citra satelit jika dibandingkan dengan data pengukuran langsung di lapangan (*ground truth*). Dua metrik statistik yang umum digunakan untuk ini adalah Koefisien Korelasi *Pearson* ( $r$ ) dan *Root Mean Square Deviation* (RMSE).

### 2.12.1 Confusion Matrix

Uji akurasi dilakukan untuk melihat tingkat kesalahan dalam mengklasifikasikan titik sampel. Uji akurasi ini menilai tingkat keakuratan secara visual dari klasifikasi terbimbing. Akurasi ketelitian pemetaan dievaluasi dengan membuat matriks kesalahan atau (*confusion matrix*) untuk memastikan bahwa pemetaan tersebut akurat.

Tabel 6. Tabel Uji Akurasi (*confusion matrix*)

Data Sampel	Diklasifikasikan ke kelas				Jumlah	Procedur's
	A	B	C	D		
A	$x_{jj}$	...	...	...	$x_{k+}$	$x_{kk}/x_{k+}$
B	...	...	...	...	...	...
C	...	...	...	...	...	...
D	...	...	...	x	...	...
Jumlah	$x_{+k}$	$x_{2+}$	$x_{3+}$	$x_{4+}$	N	...
User's Accuracy	$x_{jj}/x_{+k}$	...	...	...		

Sumber : (Andini dkk., 2018)

Menurut peraturan Badan Informasi Geospasial (BIG) Nomor. 15 tahun 2014, nilai standar dari tutupan lahan adalah 85%. Tutupan lahan dapat digunakan apabila hasil nilai *kappa* lebih dari 85% dan apabila kurang dari 85% harus melakukan klasifikasi ulang.

Tabel 7. Nilai *Kappa*

Nilai <i>Kappa</i>	Strength of Agreement
<0,20	Rendah ( <i>Poor</i> )
0,21 – 0,40	Lumayan ( <i>Fair</i> )
0,41 – 0,60	Cukup ( <i>Moderate</i> )
0,61 – 0,80	Bagus ( <i>Good</i> )
0,81 – 1,00	Sangat Bagus ( <i>Very Good</i> )

Sumber : (Noer dan Wibowo, 2024)

### 2.12.2 Koefisien Korelasi *Pearson*

Koefisien korelasi merupakan ukuran statistik yang menggambarkan hubungan antara dua variabel, dengan nilai berkisar antara -1 hingga 1. Jika kedua variabel memiliki hubungan linier sempurna, maka nilai koefisien korelasi akan bernilai 1 atau -1. Sebaliknya, jika nilai koefisien korelasi mendekati 0, maka tidak terdapat hubungan linier antara kedua variabel tersebut. Salah satu metode yang umum digunakan dalam perhitungan koefisien korelasi adalah Koefisien Korelasi *Pearson*, yang memberikan nilai numerik untuk mengukur tingkat hubungan linier antara dua variabel, yaitu X dan Y. Syarat utama dalam penggunaan metode ini adalah kedua variabel harus memiliki hubungan linier. Koefisien *Pearson* dapat dihitung menggunakan perhitungan (12) (Pratiwi 2020)):

$$r = \frac{\sum(X-X_m)(Y-Y_m)}{\sqrt{\sum(X-X_m)^2 \sum(Y-Y_m)^2}} \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan :

- r = Koefisien Korelasi *Pearson*
- X = Nilai data X
- X<sub>m</sub> = Rata-rata data X
- Y = Nilai data Y
- Y<sub>m</sub> = Rata-rata data Y

Uji Signifikansi Koefisien Korelasi *Pearson* uji Tabel Z. Sebelum dilakukan uji Tabel Z, nilai koefisien korelasi *Pearson* perlu ditransformasikan menjadi distribusi normal menggunakan *Formula Fisher's Z-transformation*, yang dinyatakan dalam persamaan 13. Hipotesis dan daerah kritis untuk uji Tabel Z dapat dilihat pada Tabel 8 (Umardani, Saehu dkk, 2023).

$$|z| = \frac{1}{2} \log_e \left( \frac{1+|r|}{1-|r|} \right) \dots\dots\dots (13)$$

Tabel 8. Hipotesis Koefisiensi Korelasi *Pearson*

Hipotesis	Daerah Kritis	Keterangan
$H_0: \rho = 0$	$Z_0 > Z(n/2)$	Koefisien korelasi populasi bernilai nol, maka terdapat hubungan linier tidak signifikan
$H_a: \rho \neq 0$	$Z_0 < Z(n/2)$	Koefisien korelasi populasi tidak bernilai nol maka terdapat hubungan linier signifikan

Sumber: *Obilor dan Amadi, 2018*

Keterangan :

$z$  = Nilai distribusi normal  $Z$  (*Z-score*)

$r$  = Nilai hitungan Koefisien Korelasi *Pearson*

$H_0$  = Hipotesis nol (tidak ada hubungan linier yang signifikan antara variabel)

$H_a$  = Hipotesis alternatif (terdapat hubungan linier yang signifikan antara variabel)

$\rho$  = Populasi koefisien korelasi

$Z_0$  = Nilai  $Z$  hitungan

$Z(\alpha/2)$  = Nilai  $Z$  tabel berdasarkan tingkat signifikansi  $\alpha$

$\alpha$  = Derajat kebebasan (tingkat signifikansi uji)

Menurut Mustafa pada tahun 2023 Kekuatan hubungan biasanya diinterpretasikan sebagai berikut:

Tabel 9. Pedoman untuk Memberikan Interpretasi terhadap Koefisien Korelasi

Nilai Koefisien ( $r$ )	Tingkat Hubungan
0,80 - 1,00	Sangat Kuat
0,60 - 0,79	Kuat
0,40 - 0,59	Sedang
0,20 - 0,39	Lemah
0,00 - 0,19	Sangat Lemah

Sumber : *Mustafa, 2023*

### 2.12.3 Mean Absolute Error (MAE)

Analisis korelasi antara *Land Surface Temperature* (LST) dan suhu udara menunjukkan bahwa kedua variabel memiliki pola distribusi spasial yang serupa, yang mengindikasikan hubungan yang kuat (Rajani dan Varadarajan, 2021). Pengukuran suhu udara dapat dilakukan melalui pengamatan langsung di lapangan atau menggunakan data dari stasiun cuaca. Untuk menyesuaikan perbedaan ketinggian antara titik pengukuran suhu udara dengan titik sampel digunakan Formula *Braak*, yang menggambarkan penurunan suhu udara sebesar  $0,61^{\circ}\text{C}$  setiap kenaikan 100 meter di atas permukaan laut (Purwantara 2015)

$$T_x = X - \left( \frac{0,61 \times h}{100} \right) \dots\dots\dots (14)$$

Keterangan:

$T_x$  = Suhu udara pada ketinggian tertentu ( $^{\circ}\text{C}$ )

$X$  = Suhu udara di permukaan laut ( $^{\circ}\text{C}$ ) (BMKG)

0,61 = Nilai *Braak* ( $^{\circ}\text{C}$ )

$h$  = Ketinggian lokasi (m)

### 2.12.4 Root Mean Square Deviation (RMSD)

Selisih antara nilai LST hasil estimasi dengan rata-rata suhu udara lapangan dapat dianalisis menggunakan dua metode evaluasi, yaitu *Mean Absolute Error* (MAE) dan *Root Mean Square Deviation* (RMSD). Kedua metode ini berfungsi sebagai akurasi silang (*cross-validation*) antara hasil pemrosesan data dengan nilai observasi di lapangan. Semakin kecil nilai MAE dan RMSD, semakin tinggi tingkat akurasi hasil estimasi dibandingkan dengan nilai observasi di lapangan (Rajani dkk, 2021) yang ditunjukkan pada persamaan 15 dan 16 (Ditami 2023).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum |T_o - T_e| \dots\dots\dots (15)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (T_o - T_e)^2} \dots\dots\dots (16)$$

Keterangan :

$n$  = Jumlah titik sampel

$T_o$  = Nilai observasi suhu udara di titik sampel (°C)

$T_e$  = Nilai estimasi suhu udara di titik sampel (°C)

### 2.13 Analisis Regresi Spasial Berbasis *Grid*

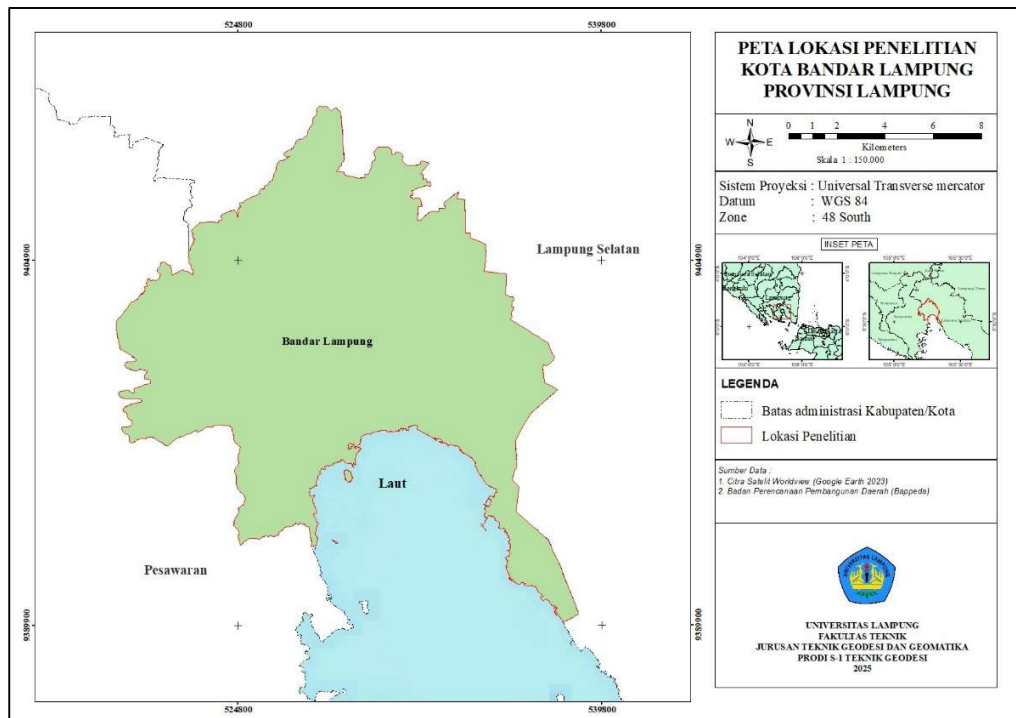
Analisis regresi spasial berbasis *grid* merupakan pendekatan pemodelan statistik yang memanfaatkan nilai *raster* sebagai dasar analisis untuk fenomena seperti *Land Surface Temperature* (LST). Pendekatan ini sangat relevan dalam studi geografis karena mampu mengakomodasi efek spasial yang sering kali diabaikan oleh metode regresi linier klasik. Efek tersebut meliputi autokorelasi spasial, yaitu kecenderungan lokasi yang berdekatan untuk memiliki nilai yang serupa, serta heterogenitas spasial, yang menunjukkan bahwa hubungan atau pengaruh antar variabel dapat berbeda-beda di setiap lokasi.

Dengan mengintegrasikan aspek dependensi lokasi ini ke dalam struktur model, analisis berbasis *grid* menawarkan estimasi yang lebih presisi dibandingkan metode non-spasial. Studi terbaru mengonfirmasi bahwa penerapan pendekatan ini pada data *grid* secara signifikan meningkatkan akurasi dalam menjelaskan pengaruh variabel lingkungan, seperti tutupan lahan, terhadap distribusi spasial LST (Chen dkk, 2025).

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kota Bandarlampung, Provinsi Lampung. Kota Bandarlampung secara geografis terletak pada koordinat  $50^{\circ}20'$  sampai dengan  $50^{\circ}30'$  LS dan  $105^{\circ}28'$  sampai dengan  $105^{\circ}37'$  BT dengan luas wilayah 18.357,08 ha. Wilayah ini dipilih sebagai tempat penelitian karena Kota Bandarlampung merupakan pusat dari kegiatan dan pusat pemerintahan di Provinsi Lampung, sehingga diperkirakan memiliki suhu yang tinggi akibat perubahan tutupan lahan yang signifikan dibandingkan wilayah lainnya di Provinsi Lampung.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

### 3.2 Alat dan Data

Alat dan data yang diperlukan pada penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

#### 3.2.1 Alat yang digunakan

Pelaksanaan penelitian ini didukung oleh perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang menunjang seluruh tahapan kerja, mulai dari akuisisi data, analisis spasial, hingga penyusunan laporan. Adapun spesifikasi perangkat keras yang berfungsi sebagai unit komputasi utama disajikan pada tabel 10.

Tabel 10. Perangkat Keras (*Hardware*) yang digunakan.

Alat	Spesifikasi	Fungsi
Laptop	ASUS TUF F15 FX506	Perangkat komputasi utama untuk mengakses <i>browser</i> (GEE), menjalankan perangkat lunak SIG (QGIS), pengolahan data, serta penyusunan naskah skripsi.

Selain dukungan perangkat keras, penelitian ini memanfaatkan berbagai perangkat lunak untuk pengolahan data citra satelit, analisis statistik, dan visualisasi peta. Rincian perangkat lunak yang digunakan dapat dilihat pada tabel 11 berikut.

Tabel 11. Perangkat Lunak (*Software*) yang di gunakan.

No.	Alat	Fungsi
1	<i>Google Earth Engine</i> (GEE)	Akuisisi, pra-pemrosesan, dan klasifikasi citra satelit serta ekstraksi LST.
2	QGIS 3.24	Visualisasi data spasial dan pembuatan <i>layout</i> peta hasil akhir.
3	<i>Microsoft Excel</i>	Tabulasi data, perhitungan statistik (uji akurasi, korelasi), dan pembuatan grafik.
4	<i>Microsoft Word</i>	Penyusunan dan penulisan laporan akhir skripsi.

#### 3.2.2 Data yang digunakan

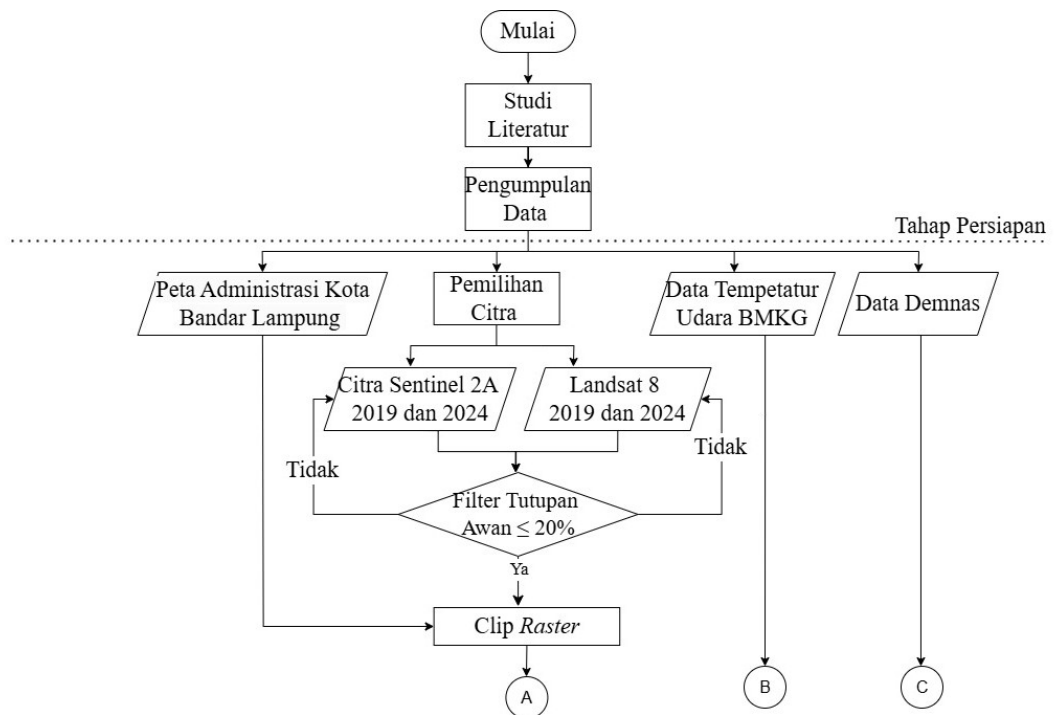
Data yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam tabel 12.

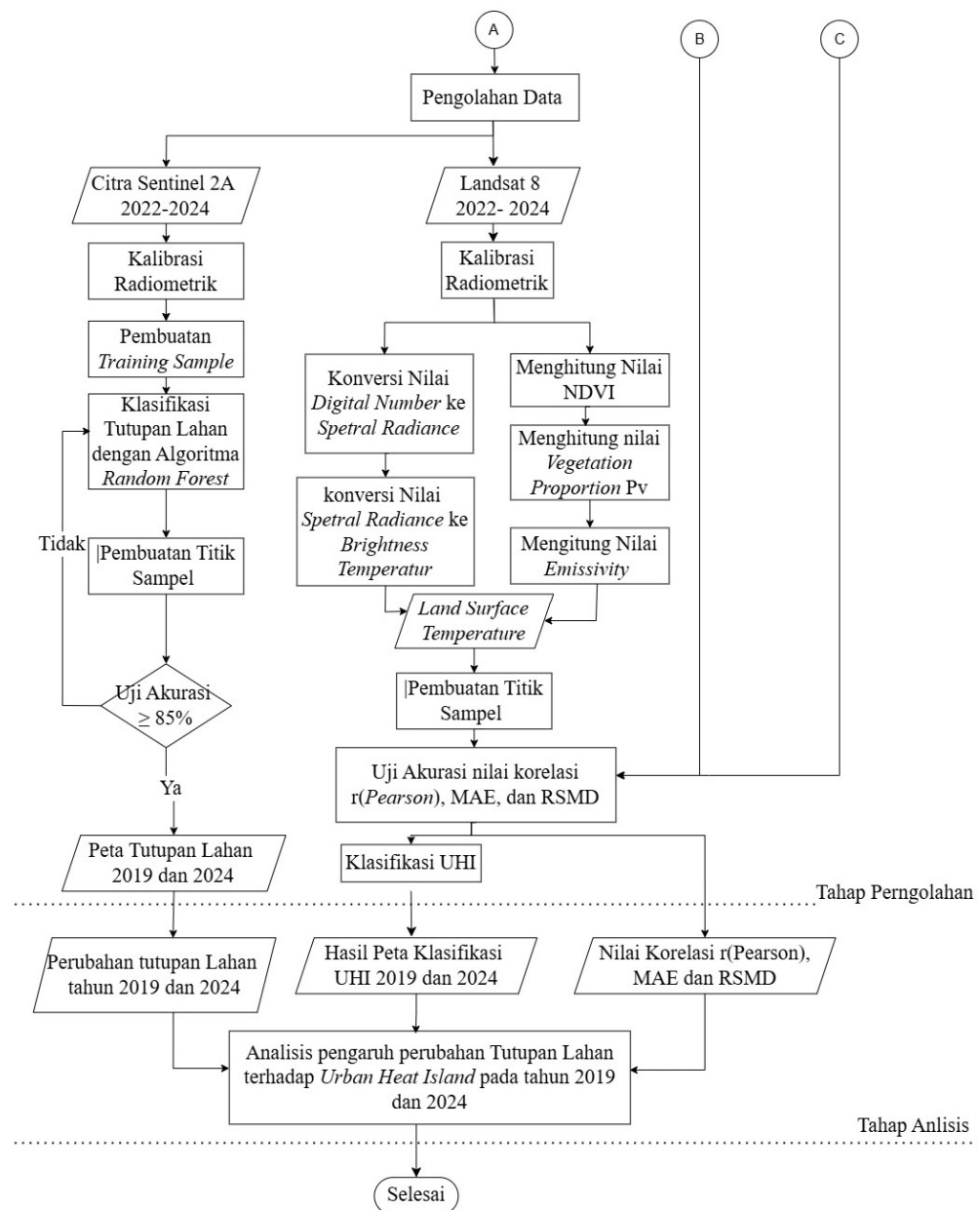
Tabel 12. Data Penelitian yang digunakan.

No	Nama Data	Tipe Data	Sumber
1	Peta Administrasi Kota Bandarlampung	Vektor	Badan Informasi Geospasial (BIG)
2	Data Citra <i>Landsat</i> 8 Kota Bandarlampung Tahun 2019 dan 2024	Raster	USGS <i>Earth Explorer</i>
3	Data Temperatur Udara BMKG Tahun 2019 dan 2024	Data Atribut	BMKG
4	Data DEMNAS Kota Bandarlampung	Raster	<i>Website</i> DEMNAS
5	Data Citra <i>Sentinel</i> 2A Kota Bandarlampung Tahun 2019 dan 2024	Raster	<i>Google Earth Engine</i>

### 3.3 Diagram Alir Penelitian

Dalam tahap penelitian ini terdapat diagram yang ditunjukkan dalam gambar 3.





Gambar 3. Diagram Alir

### 3.4 Tahap Persiapan

Tahap persiapan dalam penelitian ini meliputi studi pustaka untuk mempelajari teori-teori yang relevan serta proses pengumpulan data. Pengumpulan data dilakukan melalui dua metode, yaitu survei instansi ke Badan Perencanaan Pembangunan Daerah

(Bappeda) dan pengunduhan data sekunder melalui portal daring (*online*) seperti *Google Earth Engine*, USGS, DEMNAS, dan Data Online BMKG.

Adapun rincian data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1 Peta Administrasi: Data batas administrasi Kota Bandarlampung yang diperoleh di Bappeda.
- 2 Citra Satelit: Terdiri dari Citra Sentinel-2A (Level-2A) untuk analisis tutupan lahan dan Citra Landsat 8 (OLI/TIRS) untuk analisis suhu permukaan (*Land Surface Temperature*).
- 3 Data Temperatur Udara: Data suhu udara aktual tahun 2019 dan 2024 dari stasiun cuaca BMKG yang digunakan sebagai data validasi.
- 4 Data DEMNAS: Data elevasi digital nasional yang diunduh untuk keperluan koreksi geometrik dan analisis topografi.

#### **4.5 Tahap Pengolahan Data**

Berikut ini adalah tahapan dalam pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

##### **3.5.1 Pembuatan Peta Tutupan Lahan**

Prosedur penelitian untuk menghasilkan peta penutup lahan dilakukan melalui serangkaian alur kerja yang sistematis. Seluruh alur kerja komputasi dieksekusi menggunakan skrip di *platform Google Earth Engine* (GEE).

###### **3.5.1.1 Pra-Pemrosesan Citra di GEE**

Langkah ini bertujuan untuk menyiapkan citra komposit yang bersih dan siap diolah untuk tahun 2019 dan 2024.

###### **1. Pemanggilan dan Pemfilteran Data:**

Memanggil koleksi citra *Sentinel-2 L2A* (COPERNICUS/S2\_SR). Koleksi ini difilter berdasarkan tiga kriteria:

a. Filter Lokasi

Berdasarkan batas administrasi dengan format *Shapefile* (SHP) Kota BandarLampung.

b. Filter Waktu

Rentang waktu satu tahun penuh untuk masing-masing tahun 2019 dan 2024, untuk mendapatkan citra yang representatif di berbagai musim.

c. *Filter Metadata*

Filter citra dengan tutupan awan (*CLOUDY\_PIXEL\_PERCENTAGE*) di bawah 20%.

2. Penutupan Awan (*Cloud Masking*)

Menerapkan fungsi *masking* pada setiap citra dalam koleksi untuk menghilangkan piksel awan dan bayangan awan menggunakan *band 'SCL' - Scene Classification Layer*).

3. Pembuatan Komposit

Citra-citra bersih yang telah difilter kemudian digabungkan (*composite*) menjadi satu citra tunggal untuk setiap tahun menggunakan agregasi median. Metode median dipilih karena sangat efektif untuk menghilangkan sisa *noise* dan menghasilkan nilai piksel yang paling representatif dari rentang waktu tersebut.

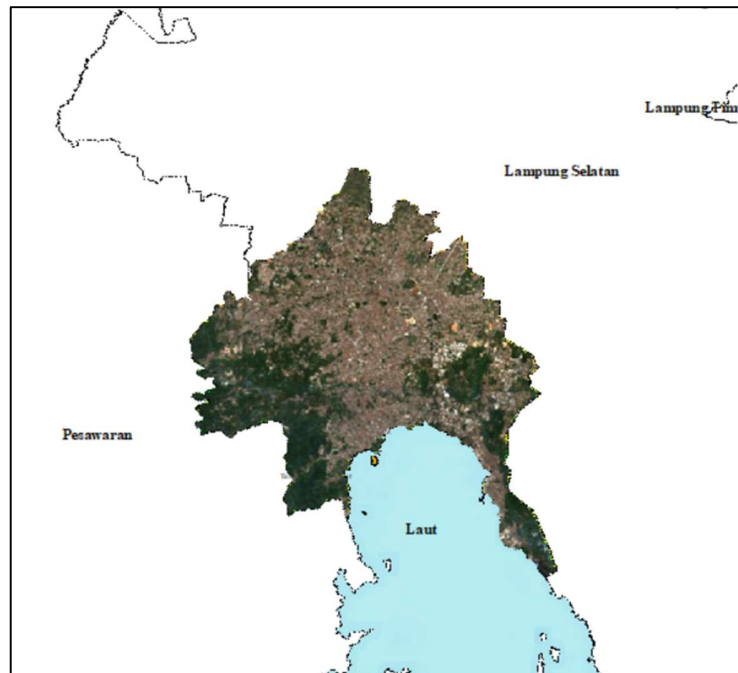
4. Pemotongan Citra (*Clip*)

Citra komposit median yang dihasilkan kemudian dipotong (*clipped*) sesuai batas administrasi (AOI) Kota Bandarlampung.

5. Kalibrasi Radiometrik

Tahapan ini dilakukan untuk memastikan nilai piksel citra merepresentasikan nilai pantulan objek yang sebenarnya di permukaan bumi (*Surface Reflectance*). Pada penelitian ini, kalibrasi radiometrik diterapkan dengan menggunakan produk data Sentinel-2 Level-2A. Produk ini telah melalui proses koreksi atmosfer dan radiometrik dari *Top of Atmosphere* (TOA) menjadi *Bottom of Atmosphere* (BOA) oleh *European*

*Space Agency* (ESA). Dengan menggunakan data yang telah terkalibrasi secara radiometrik, gangguan spektral akibat hamburan atmosfer dapat diminimalisir sehingga meningkatkan akurasi pada proses klasifikasi tutupan lahan.



Gambar 4. Citra *Sentinel 2* Pra-Pemrosesan Citra

### 3.5.1.2 Pembuatan *Training Sample*

Tahap ini adalah tahap krusial dalam klasifikasi terawasi.

#### 1. Penentuan Skema Klasifikasi

Menentukan kelas-kelas penutup lahan yang akan dipetakan. Berdasarkan kondisi Kota Bandarlampung, skema klasifikasi yang digunakan adalah lahan terbangun, vegetasi, lahan terbuka, badan air.

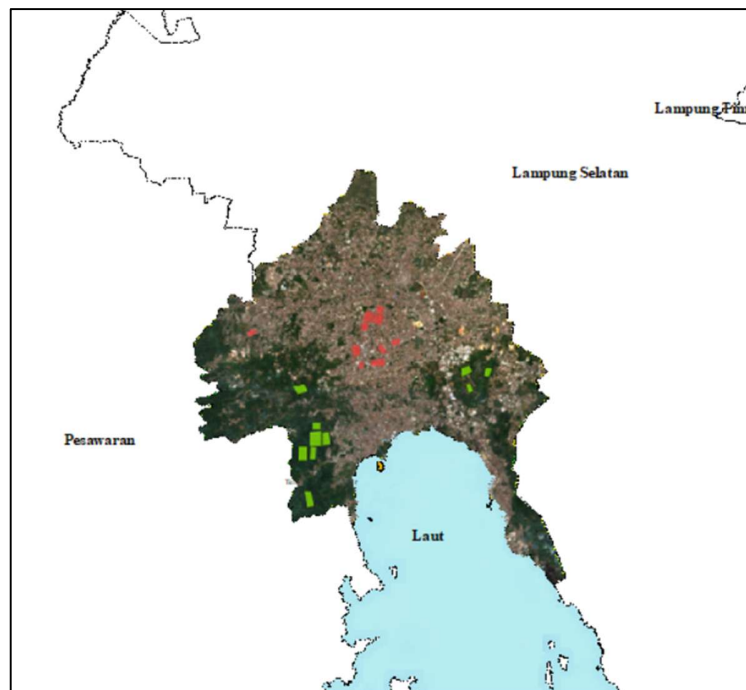
#### 2. Digitasi Sampel (ROI)

Membuat data *training* dengan cara mendigitasi poligon-poligon kecil (*Region of Interests*) untuk setiap kelas penutup lahan diatas. Digitasi dilakukan secara manual GEE dengan mengacu citra komposit *Sentinel-2* yang telah dibuat.

### 3. Pemisahan Data

Total poligon sampel yang telah dibuat kemudian dibagi secara acak menjadi dua:

- a. 70% (*Training Data*): Digunakan untuk algoritma klasifikasi.
- b. 30% Data Validasi (*Validation Data*): Disimpan dan tidak digunakan untuk melatih, tetapi hanya untuk menguji akurasi hasil klasifikasi nanti.



Gambar 5. *Training sample* untuk Klasifikasi

#### 3.5.1.3 Klasifikasi Tutupan Lahan

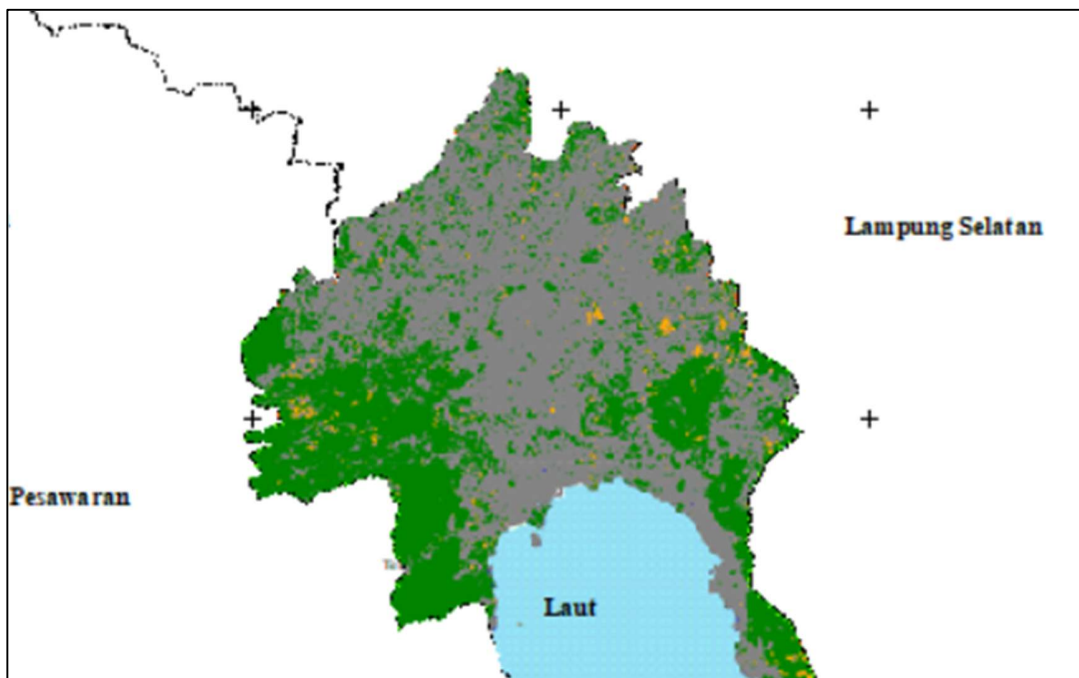
Ekstraksi *training sample* dari 70% sampel diimpor ke GEE. Nilai-nilai piksel dari citra komposit *Sentinel-2* diekstraksi berdasarkan lokasi poligon-poligon tersebut.

##### 1. Algoritma *Random Forest*

Menggunakan algoritma *machine learning Random Forest* (RF). Algoritma RF dipilih karena kemampuannya yang sangat baik dalam menangani data multispektral yang kompleks, tidak sensitif terhadap *overfitting*, dan umumnya menghasilkan akurasi yang tinggi. Algoritma RF mengenali pola spektral setiap kelas dari data *training sample*.

## 2. Eksekusi Klasifikasi

Setelah model RF dilakukan, model tersebut diterapkan pada keseluruhan citra komposit *Sentinel-2* tahun 2019 dan 2024 untuk mengklasifikasikan setiap piksel di Kota Bandarlampung ke dalam salah satu kelas yang telah ditentukan. Hasilnya adalah peta penutup lahan untuk tahun 2019 dan 2024.



Gambar 6. Hasil Klasifikasi Tutupan Lahan

### 3.5.1.4 Penentuan Titik Sampel

Penentuan jumlah dan sebaran titik sampel dalam penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data yang mampu merepresentasikan kondisi populasi secara akurat dan objektif. Metode pengambilan sampel yang diterapkan adalah *Stratified Random Sampling* (Acak Berstrata). Dasar utama dalam perhitungan jumlah sampel ini mengacu pada hasil klasifikasi sementara peta tutupan lahan yang diolah di *Google Earth Engine*.

Sebagaimana ditampilkan pada Tabel 13, nilai statistik dari *Matriks Error*, khususnya *User's Accuracy* (Akurasi Pengguna) dan proporsi luasan dari setiap kelas, digunakan sebagai parameter masukan utama.

Tabel 13. *Matriks Error* Peta Tutupan Lahan di *Google Earth Engine*

Kelas	Badan Air (Pixel)	Vegetasi (Pixel)	Lahan Terbangun (Pixel)	Lahan Terbuka (Pixel)	Total	UA (%)
Badan Air (Pixel)	558	0	69	0	627	89
Vegetasi (Pixel)	0	2.910	15	0	2.925	99
Lahan Terbangun (Pixel)	8	10	3.740	2	3.760	99
Lahan Terbuka (Pixel)	0	1	10	1.033	1.044	98,95
<b>Total</b>	566	2.921	3.834	1.035	8.356	

Berdasarkan tabel 13, informasi mengenai proporsi luas area per kelas dan estimasi akurasi pengguna (*User Accuracy*) diekstraksi menjadi data masukan. Nilai-nilai tersebut diolah menggunakan pendekatan statistik Formula *Cochran* untuk menghitung jumlah sampel minimal yang objektif. Parameter yang digunakan meliputi:

1. Proporsi Area ( $W_i$ ) Luas relatif dari setiap kelas penutup lahan.
2. Estimasi Akurasi: Perkiraan standar deviasi *User Accuracy* untuk setiap kelas  $S_i$
3. Tingkat Toleransi: Standar deviasi *Matriks Error* yang diinginkan, yang dalam penelitian ini ditetapkan sebesar 0,01 ( $S(O)$ ).

Rincian perhitungan untuk menentukan jumlah total sampel (N) disajikan dalam tabel 14.

Tabel 14. Perhitungan Jumlah Total Titik Sampel (N) dengan *Statiefid Random Sampling*

Kelas	Luas (Ha)	Wi (Bobot)	Ui (Akurasi)	Si (Std. Dev)	So	Wi×Si
Badan Air	0,64	0,0035	89,00%	0,31		0,0011
Vegetasi	79,77	0,4344	99,49%	0,07		0,0310
Lahan Terbangun	99,28	0,5407	99,47%	0,07	0,01	0,0393
Lahan Terbuka	3,93	0,0214	98,95%	0,10		0,0022
Total						0,0736
N						50,0123
Distribusi						12,503

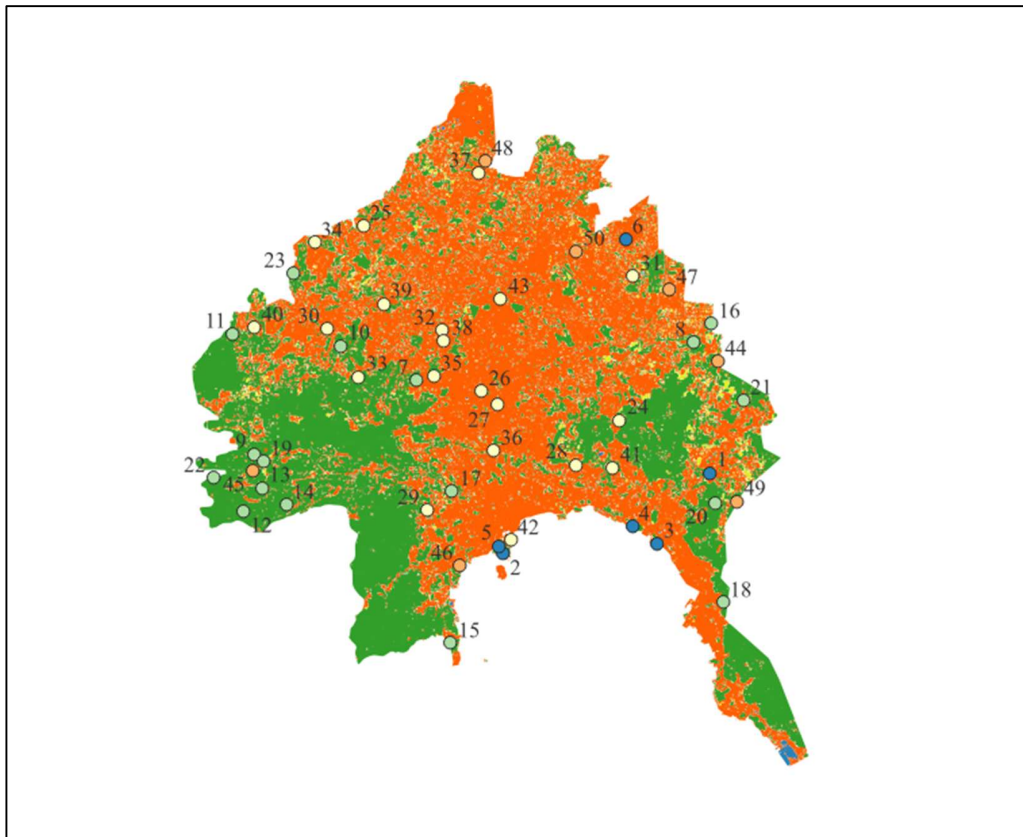
Berdasarkan perhitungan pada Tabel 14, diperoleh nilai total N sebesar 50,01. Angka ini menunjukkan jumlah minimum sampel yang diperlukan untuk memenuhi syarat statistik. Selanjutnya, jumlah total tersebut dialokasikan secara proporsional ke dalam setiap kelas penutup lahan.

Proses alokasi dan pembulatan dilakukan untuk memastikan setiap kelas, baik yang dominan maupun minoritas, mendapatkan porsi sampel yang sesuai. Rincian distribusi akhir titik sampel dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15. Alokasi Distribusi Titik Sampel per Kelas tahun 2019

Kelas	Hasil Distribusi	Bobot Alokasi	Jumlah Sampling	Pembulatan
Badan Air		0,17504	6,339	6
Vegetasi		21,72534	17,114	17
Lahan Terbangun	12,503	27,04165	19,772	20
Lahan Terbuka		1,07026	6,787	7
Jumlah				50

Hasil akhir dari proses alokasi tersebut menetapkan total 50 titik sampel yang digunakan untuk akurasi tahun 2019 Sebaran spasial titik-titik tersebut, yang tersebar secara acak namun proporsional di seluruh penutup lahan Kota Bandarlampung, divisualisasikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Distribusi Titik Sampel

Gambar 7. menunjukkan hasil akhir dari proses alokasi tersebut, dimana 50 titik sampel tersebar secara acak namun proporsional di seluruh strata penutup lahan di Kota Bandar Lampung.

### 3.5.1.5 Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan untuk mengevaluasi validitas hasil klasifikasi dengan membandingkannya terhadap kondisi sebenarnya (*ground truth*). Sebanyak 50 titik sampel yang telah ditentukan sebelumnya diverifikasi melalui interpretasi visual menggunakan citra resolusi tinggi pada *Google Earth*. Metode ini digunakan untuk memastikan bahwa objek tutupan lahan yang teridentifikasi pada citra Sentinel-2 sesuai dengan kondisi fisik di lapangan, baik untuk periode tahun 2019 maupun 2024.

Hasil verifikasi kemudian dianalisis menggunakan *Confusion Matrix* untuk menghasilkan nilai statistik berupa *Overall Accuracy* (OA), *Producer Accuracy* (PA),

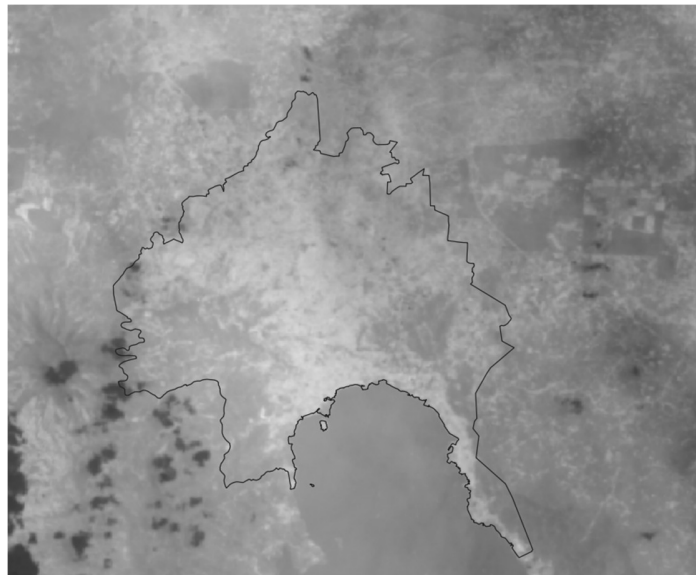
dan *Kappa Coefficient*. Dalam penelitian ini, peta tutupan lahan dinyatakan layak dan dapat diterima apabila nilai *Overall Accuracy* mencapai ambang batas minimal sebesar 85% atau lebih. Nilai tersebut menjadi standar penentu bahwa data spasial yang dihasilkan memiliki tingkat keakuratan yang memadai untuk digunakan dalam analisis selanjutnya

### 3.5.2 Tahapan Pembuatan Peta LST (*Land surface Temperature*)

Pembuatan peta *Urban Heat Island* (UHI) dilakukan dengan memanfaatkan data termal dari sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) serta data reflektif dari *Operational Land Imager* (OLI).

#### 3.5.2.1 Konversi *Digital Number* (DN) menjadi *Top Of Atmosphere* (TOA)

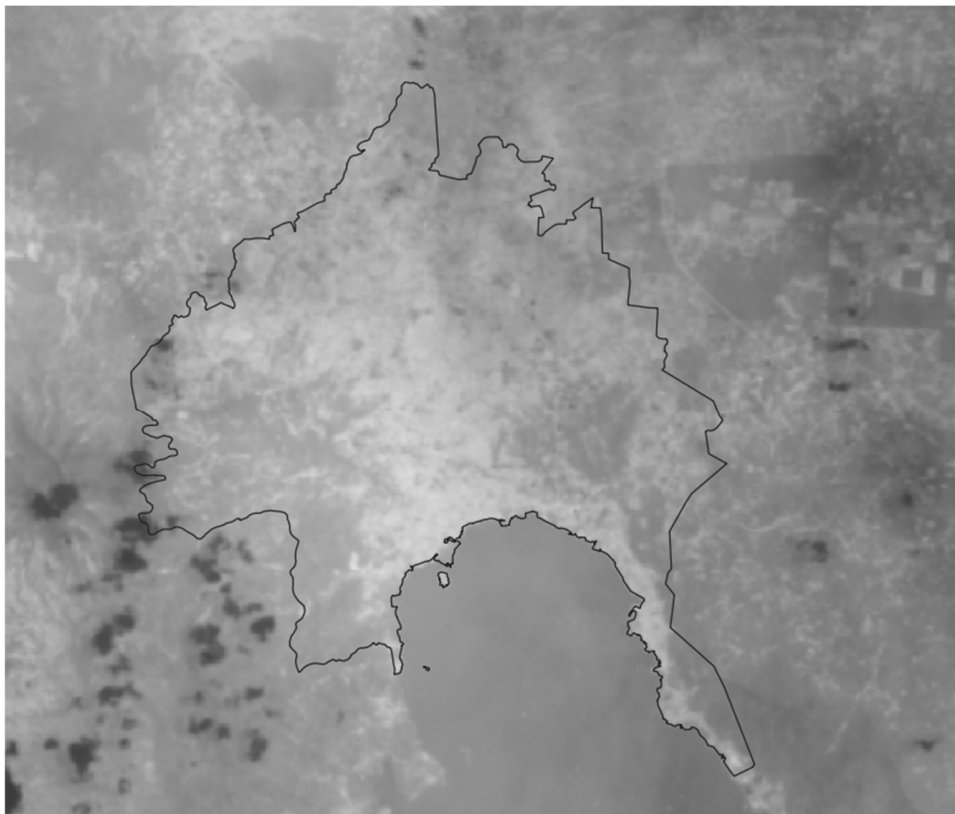
Proses ini diawali dengan akuisisi citra *Landsat 8* yang mencakup wilayah perkotaan yang akan dianalisis. Selanjutnya, dilakukan koreksi radiometrik dan atmosferik untuk meningkatkan akurasi data suhu permukaan. Selanjutnya Konversi radiansi *Top of Atmosphere* (TOA) menjadi suhu kecerahan (*Brightness Temperature*/BT).



Gambar 8. *Top Of Atmosphere* (TOA)

### 3.5.2.2 *Brightness Temperature (BT)*

Konversi radiansi *Top of Atmosphere* (TOA) menjadi suhu kecerahan (*Brightness Temperature/BT*) dilakukan dengan menggunakan nilai  $L\lambda$  serta konstanta konversi termal spesifik untuk masing-masing *band*, yaitu K1 dan K2, yang tercantum dalam *file* metadata (karakteristik teknis, waktu perekaman, posisi geografis, dan kondisi sensor saat data diambil) perekaman citra satelit. Suhu yang diperoleh awalnya dalam satuan Kelvin (K), kemudian dikonversi ke Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) dengan mengurangi nilai nol absolut ( $-273,15^{\circ}\text{C}$ ). Perhitungan suhu kecerahan dalam Celsius dilakukan menggunakan persamaan (2).

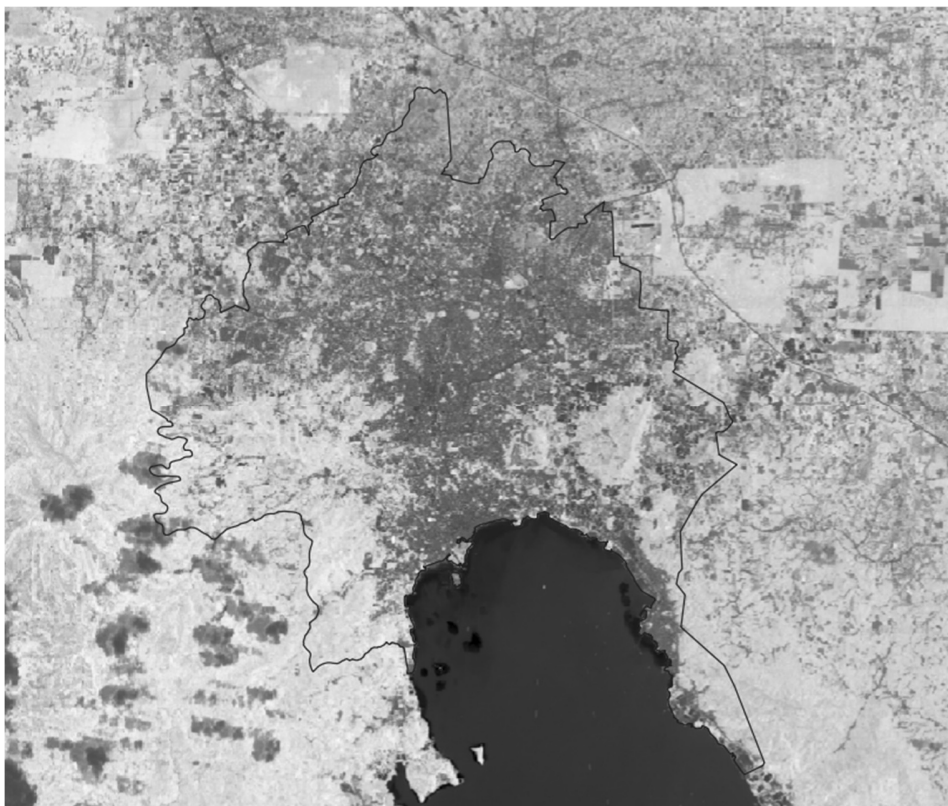


Gambar 9. *Brightness Temperature (BT)*

### 3.5.2.3 Pembuatan NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

Citra spektral dari sensor OLI (*Operational Land Imager*) pada *band* 4 dan *band* 5 digunakan untuk menghitung NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Nilai

NDVI berkisar antara -1,0 hingga +1,0, tergantung pada karakteristik objek di permukaan tanah yang ditangkap oleh sensor. Perhitungan NDVI pada setiap piksel dilakukan dengan memanfaatkan *band* Merah (*Red*) pada  $0,64 \mu\text{m}$  (*band* 4) dan *band* *Near Infrared* (NIR) pada  $0,85 \mu\text{m}$  (*band* 5) dari citra Landsat 8, menggunakan persamaan (3). Perhitungan NDVI diperlukan untuk memperkirakan proporsi vegetasi ( $P_v$ ) serta emisivitas permukaan tanah (LSE atau  $\epsilon$ ), yang merupakan parameter penting dalam estimasi Suhu Permukaan Tanah (*Land Surface Temperature/LST*).

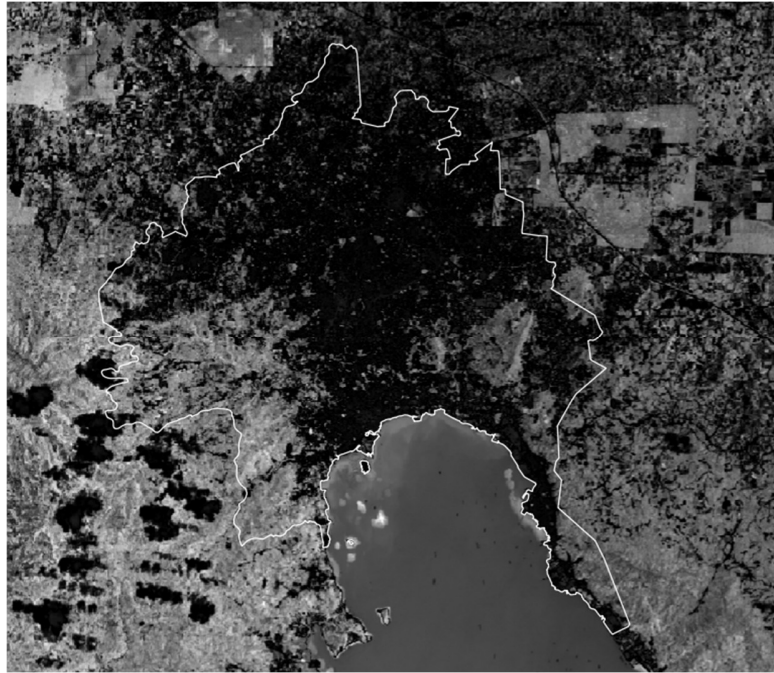


Gambar 10. NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

#### 3.5.2.4 Pembuatan Proporsi vegetasi ( $P_v$ )

Proporsi vegetasi ( $P_v$ ) dihitung menggunakan persamaan (4), dimana nilai Proporsi vegetasi diperoleh dari hasil perhitungan NDVI. Setelah estimasi nilai Proporsi vegetasi untuk area penelitian dilakukan, nilai Proporsi vegetasi yang dihasilkan

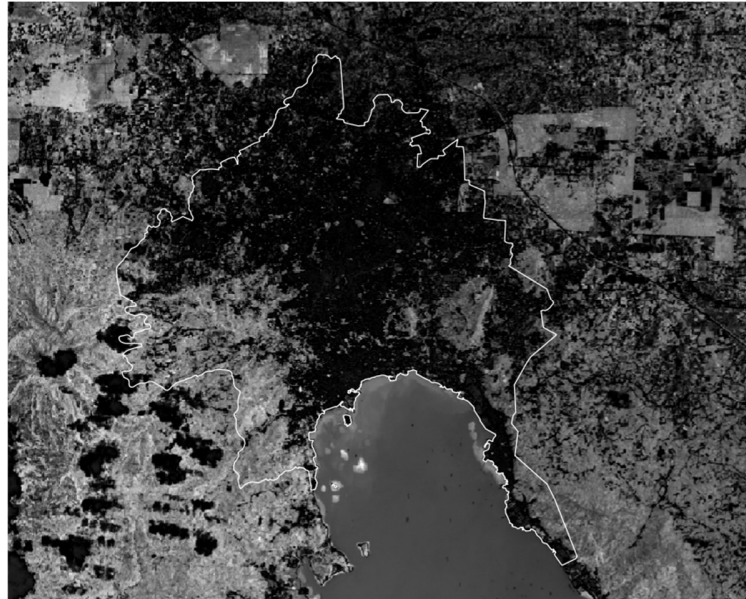
tersebut digunakan dalam perhitungan Emisivitas Permukaan Tanah (LSE atau  $\epsilon$ ) beserta nilai NDVI yang sudah dihasilkan.



Gambar 11. Proporsi vegetasi ( $P_v$ )

#### 3.5.2.5 Pembuatan LSE (*Land Surface Emissivity*)

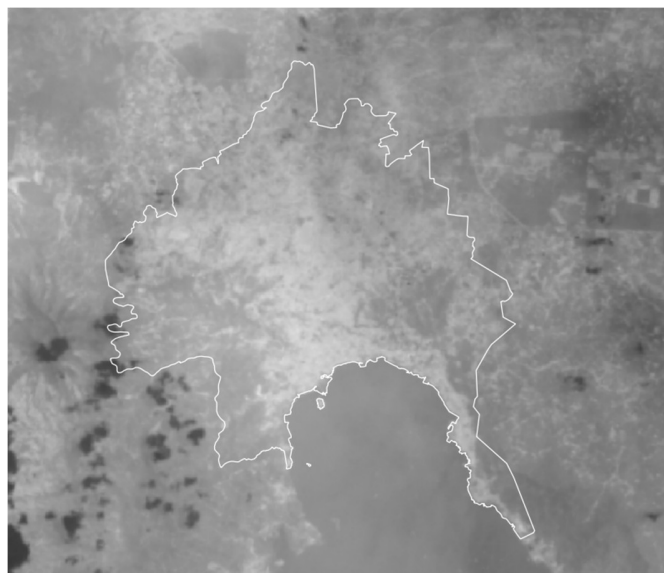
Perhitungan *Land Surface Emissivity* menggunakan metode *threshold* NDVI. LSE merupakan parameter penting dalam perhitungan *Land Surface Temperature* (LST) karena berperan sebagai faktor skala dalam radiansi benda hitam sesuai dengan hukum *Planck*, sehingga memungkinkan prediksi radiasi yang dipancarkan. Selain itu, LSE juga berpengaruh terhadap kemampuan permukaan tanah dalam mentransfer energi panas ke atmosfer. Nilai akhir emisivitas ( $\epsilon$ ) untuk wilayah permukaan tanah dalam citra Landsat 8 dihitung menggunakan persamaan (7).



Gambar 12. LSE (*Land Surface Emissivity*)

#### 3.5.2.6 Pembuatan LST (*Land Surface Temperature*)

Langkah terakhir dalam estimasi *Land Surface Temperature* (LST) dilakukan menggunakan persamaan (3). Estimasi LST dilakukan untuk wilayah penelitian pada tahun 2019 dan 2024.



Gambar 13. Pembuatan LST (*Land Surface Temperature*)

### 3.5.2.7 Penentuan Titik Sampel

Penentuan jumlah dan sebaran titik sampel dalam penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data yang mampu merepresentasikan kondisi populasi secara akurat dan objektif. Metode pengambilan sampel yang diterapkan adalah *Stratified Random Sampling* (Acak Berstrata). Dasar utama dalam perhitungan jumlah sampel ini mengacu pada hasil klasifikasi sementara peta tutupan lahan yang diolah di *Google Earth Engine*.

Sebagaimana ditampilkan pada Tabel 16, nilai statistik dari Matriks Error, khususnya *User's Accuracy* (Akurasi Pengguna) dan proporsi luasan dari setiap kelas, digunakan sebagai parameter masukan utama.

Tabel 16. *Matriks Error* Peta Tutupan Lahan di *Google Earth Engine*

Kelas	Badan Air (Pixel)	Vegetasi (Pixel)	Lahan Terbangun (Pixel)	Lahan Terbuka (Pixel)	Total	UA (%)
Badan Air (Pixel)	558	0	69	0	627	89
Vegetasi (Pixel)	0	2.910	15	0	2.925	99
Lahan Terbangun (Pixel)	8	10	3.740	2	3.760	99
Lahan Terbuka (Pixel)	0	1	10	1.033	1.044	98,95
<b>Total</b>	566	2.921	3.834	1.035	8.356	

Berdasarkan tabel diatas, informasi mengenai proporsi luas area per kelas dan estimasi akurasi pengguna (*User Accuracy*) diekstraksi menjadi data masukan. Nilai-nilai tersebut diolah menggunakan pendekatan statistik Formula *Cochran* untuk menghitung jumlah sampel minimal yang objektif. Parameter yang digunakan meliputi:

1. Proporsi Area ( $W_i$ ) Luas relatif dari setiap kelas penutup lahan.
2. Estimasi Akurasi: Perkiraan standar deviasi *User Accuracy* untuk setiap kelas  $S_i$

3. Tingkat Toleransi: Standar deviasi *Matriks Error* yang diinginkan, yang dalam penelitian ini ditetapkan sebesar 0,01 ( $S(O)$ ).

Rincian perhitungan untuk menentukan jumlah total sampel (N) disajikan dalam tabel 17.

Tabel 17. Perhitungan Jumlah Total Titik Sampel (N) dengan *Statiefid Random Sampling*

Kelas	Luas (Ha)	Wi (Bobot)	Ui (Akurasi)	Si (Std. Dev)	So	Wi×Si
Air	0,64	0,0035	89,00%	0,31		0,0011
Vegetasi	79,77	0,4344	99,49%	0,07		0,0310
Lahan Terbangun	99,28	0,5407	99,47%	0,07	0,01	0,0393
Lahan Terbuka	3,93	0,0214	98,95%	0,10		0,0022
Total						0,0736
N						50,0123
Distribusi						12,503

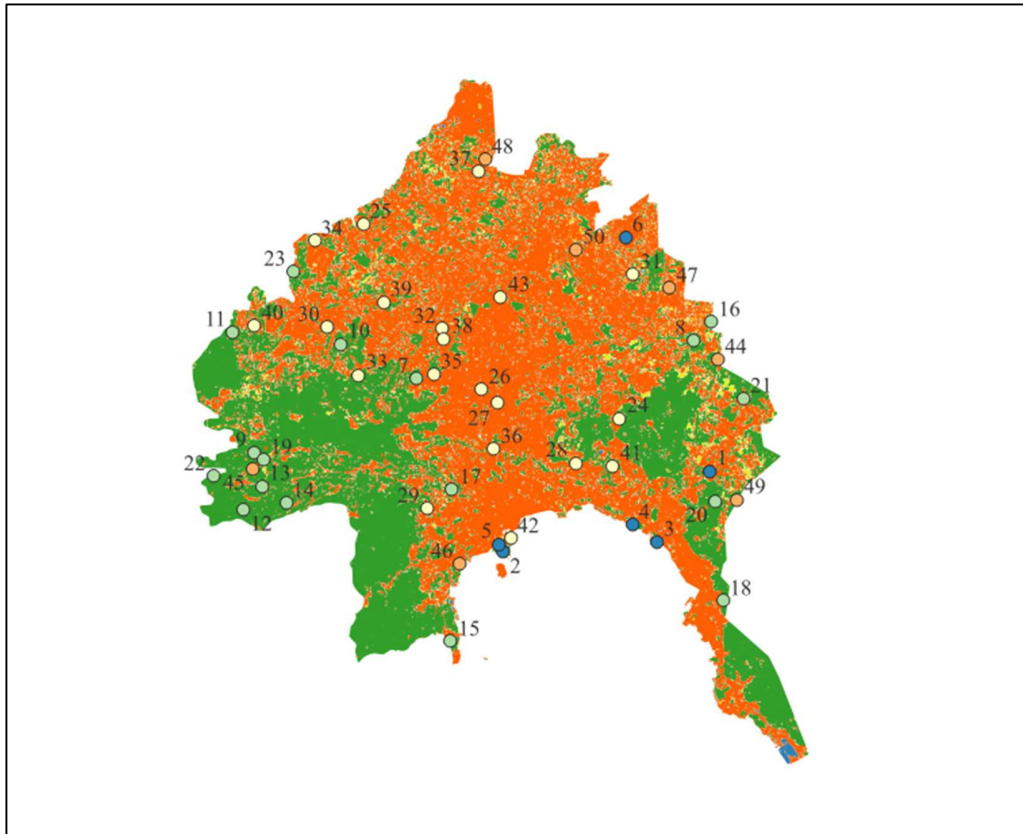
Berdasarkan perhitungan pada Tabel 17, diperoleh nilai total N sebesar 50,01. Angka ini menunjukkan jumlah minimum sampel yang diperlukan untuk memenuhi syarat statistik. Selanjutnya, jumlah total tersebut dialokasikan secara proporsional ke dalam setiap kelas penutup lahan.

Proses alokasi dan pembulatan dilakukan untuk memastikan setiap kelas, baik yang dominan maupun minoritas, mendapatkan porsi sampel yang sesuai. Rincian distribusi akhir titik sampel dapat dilihat pada Tabel 18.

Tabel 18. Alokasi Distribusi Titik Sampel per Kelas

Kelas	Hasil Distribusi	Bobot Alokasi	Jumlah Sampling	Pembulatan
Air		0,17504	6,339	6
Vegetasi		21,72534	17,114	17
Lahan Terbangun	12,503	27,04165	19,772	20
Lahan Terbuka		1,07026	6,787	7
Jumlah				50

Berdasarkan alokasi pada tabel 18, setelah dilakukan pembulatan untuk setiap kelas, didapatkan total akhir titik sampel yang didistribusikan adalah sebanyak 50 titik untuk 2019.



Gambar 14. Peta Distribusi Titik Sampel

Gambar 14. menunjukkan hasil akhir dari proses alokasi tersebut, dimana 50 titik sampel tersebar secara acak namun proporsional di seluruh strata penutup lahan di Kota Bandar Lampung.

### 3.5.2.8 Uji Akurasi Koefisien *Pearson*, MAE, dan RSMD

Pengolahan data LST (*Land Surface Temperature*) diuji korelasinya dengan data suhu lapangan yang dikumpulkan dari stasiun cuaca BMKG menggunakan koefisien *Pearson*, sesuai dengan persamaan (12). Koefisien korelasi yang diperoleh selanjutnya dianalisis untuk menentukan tingkat hubungan antara kedua variabel tersebut. Tingkat

kekuatan korelasi ditentukan berdasarkan hubungan antara nilai LST dan data temperatur udara, yang menunjukkan rentang tingkat korelasi. Uji akurasi ini dilakukan untuk mencari akurasi hasil estimasi suhu permukaan tanah yang diperoleh dari citra satelit dengan data suhu aktual yang diperoleh dari 2 lokasi stasiun cuaca. Selisih antara nilai LST hasil estimasi dengan rata-rata suhu udara lapangan dapat dianalisis menggunakan dua metode evaluasi, yaitu *Mean Absolute Error* (MAE) dan *Root Mean Square Deviation* (RMSD). Kedua metode ini berfungsi sebagai akurasi silang (*cross-validation*) antara hasil pemrosesan data dengan nilai observasi di lapangan yang ditunjukkan pada persamaan 15 dan 16. Semakin kecil nilai MAE dan RMSD, semakin tinggi tingkat akurasi hasil estimasi dibandingkan dengan nilai observasi di lapangan (Rajani dkk, 2021).

### 3.6 Tahap Analisis

Tahap Analisis menentukan tingkat dan sebaran spasial fenomena UHI. Peta LST tahun 2019 dan 2024 yang dihasilkan dari Algoritma *Mono-Window* (MWA) diklasifikasikan menjadi 5 kategori (Sangat Rendah, Rendah, Sedang, Tinggi, dan Sangat Tinggi). Penentuan interval kelas ini menggunakan tabel 3. Proses ini menghasilkan Peta Zona UHI tematik untuk 2019 dan 2024, dimana kelas Tinggi dan Sangat Tinggi diinterpretasikan sebagai area *hotspot* UHI.

Tahap kedua adalah menganalisis pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap kelas UHI tersebut. Proses ini menghitung berapa luasan atau persen dari pengaruh perubahan tutupan lahan yang di hasilkan dengan fenomena UHI. Analisis ini membandingkan tahun 2019 dan 2024 dengan analisis regresi spasial berbasis *grid*. Metode ini membagi area studi menjadi ribuan sel *grid* seragam. Di dalam setiap sel *grid*, dihitung LST Rerata (Y) dan persentase kelas tutupan lahan (X). Hasil regresi dari data tahun 2019 dan 2024 kemudian dibandingkan untuk menunjukkan dampak alih fungsi lahan terhadap intensitas UHI sehingga perbandingan antara kedua tahun tersebut dapat menunjukkan secara jelas dampak alih fungsi lahan terhadap intensitas UHI.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai analisis hubungan antara perubahan tutupan lahan terhadap fenomena *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Bandarlampung tahun 2019 dan 2024, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Identifikasi Perubahan Tutupan Lahan (2019–2024) dengan penerapan algoritma *Random Forest* pada platform *Google Earth Engine* memetakan tutupan lahan dengan tingkat akurasi tinggi, yaitu 96% pada tahun 2019 dan 95,65% pada tahun 2024. Hasil analisis menunjukkan terjadinya perubahan signifikan pada struktur ruang kota selama periode lima tahun. Lahan Terbangun mengalami ekspansi terbesar dengan penambahan luas 663,88 hektar (naik 3,62%), yang berbanding lurus dengan penyusutan vegetasi sebesar 656,64 hektar (turun 3,58%). Hal ini mengonfirmasi bahwa pertumbuhan fisik kota sebagian besar terjadi melalui alih fungsi lahan hijau.
2. Identifikasi Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) dengan pengolahan *Land Surface Temperature* (LST) menggunakan *Mono-Window Algorithm* (MWA) berhasil mengidentifikasi peningkatan intensitas panas yang nyata di Kota Bandarlampung. Rata-rata suhu permukaan wilayah studi mengalami kenaikan dari 18,80°C pada tahun 2019 menjadi 23,39°C pada tahun 2024. Fenomena UHI semakin intensif dengan munculnya kelas suhu Tinggi dan Sangat Tinggi pada tahun 2024 yang mencakup luas 5.946,92 hektar (32,39% wilayah), padahal kedua kategori ekstrem tersebut tidak terdeteksi sama sekali pada tahun 2019. Sebaliknya, area sejuk (kelas Sangat Rendah dan Rendah) menyusut drastis hingga 4.021,4 hektar.
3. Pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap variasi UHI membuktikan bahwa konversi lahan memiliki pengaruh yang kuat dan signifikan terhadap peningkatan

intensitas UHI. Lahan Terbangun teridentifikasi sebagai variabel yang paling dominan memengaruhi kenaikan suhu dengan besar pengaruh koefisien determinasi ( $R^2$ ) mencapai 62,04%. Sebaliknya, Vegetasi terbukti memberikan pengaruh pendinginan dengan koefisien determinan ( $R^2$ ) sebesar 37,17%. Implikasi dari besarnya pengaruh konversi lahan ini terlihat secara nyata pada pergeseran klasifikasi UHI, yang ditandai dengan munculnya zona UHI kategori Tinggi dan Sangat Tinggi seluas 5.946,92 hektar pada tahun 2024. Intensifikasi ini memicu perubahan drastis variasi suhu di wilayah pinggiran (Kecamatan Kemiling dan Teluk Betung Barat) yang bertransformasi dari zona sejuk (*cold spot*) menjadi zona panas (*hotspot*).

## 5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan penelitian, berikut adalah beberapa saran yang dapat diajukan untuk pertimbangan serta sebagai arahan bagi penelitian di masa depan:

1. Bagi Pemerintah Kota Bandarlampung, disarankan untuk memperketat pengendalian alih fungsi lahan, khususnya konversi area vegetasi menjadi lahan terbangun. Upaya proaktif untuk melindungi dan menambah Ruang Terbuka Hijau (RTH) perlu diprioritaskan, terutama di kawasan padat terbangun yang teridentifikasi sebagai zona UHI intensitas tinggi.
2. Disarankan untuk mengintegrasikan strategi mitigasi UHI ke dalam tata kota dan standar bangunan. Beberapa strategi yang dapat diterapkan antara lain program penanaman pohon, pengembangan taman vertikal (*vertical garden*) dan atap hijau (*green roof*), serta penggunaan material konstruksi yang reflektif (*cool materials*) untuk perkerasan jalan dan bangunan.
3. Penelitian di masa depan juga dapat difokuskan pada pengembangan model spasial prediktif untuk memproyeksikan sebaran UHI berdasarkan skenario Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW), sehingga dapat menjadi alat bantu dalam pengambilan keputusan tata ruang yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmada, N., dan Imam Sarifudin. 2023. "Analisis Penggunaan Lahan Berdasarkan Aspek Geologi Lingkungan di Kecamatan Tembalang." *Perwira Journal of Science & Engineering*, 3(2), 6–17.
- Alfarizi, Hayyan Abdurrohman. 2022. "Studi Korelasi Antara Fenomena Urban Heat Island Terhadap Peningkatan Pembangunan Fisik Di Kota Bandar Lampung." Program Studi Teknik Geodesi Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung.
- Alfaya, H. H., dan Danardono. 2024. "Dinamika Perubahan Tutupan Lahan Dan Stok Karbon Di Kabupaten Grobogan." Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Andini, S., Prasetyo, Y., dan Sukmono, A. 2018. "Analisis Sebaran Vegetasi dengan Citra Satelit Sentinel menggunakan Metode NDVI dan Segmentasi (Studi Kasus: Kabupaten Demak)." *Jurnal Geodesi Undip*, 7(1), 14–24.
- Badan Informasi Geospasial. 2020. Klasifikasi penutup lahan. <https://www.big.go.id>
- Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Bandar Lampung. 2024. Kota Bandar Lampung dalam Angka 2024. Bandar Lampung: BPS Kota Bandar Lampung.
- Darmawan, Soni, dan Taufan Al Barry. 2022. "Analisis Fenomena Urban Heat Island Menggunakan Google Earth Engine (Studi kasus Jawa Barat, Indonesia)." Seminar Nasional dan Diseminasi Tugas Akhir 2022.
- Di Gregorio, A., and Jansen, L. J. M. 2005. Land Cover Classification System (LCCS), Version 2: Classification Concepts and User Manual. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Dienelly, Ummi, Samsul Bakri, dan Santoso Trio. 2017. "Pengaruh Perubahan Tutupan Hutan Dan Lahan Terhadap Produk Domestik Regional Bruto (Pdrb) Di Sektor Pertanian, Kehutanan Dan Industri: Studi Di Provinsi Lampung." *Jurnal Sylva Lestari*, 5(2), 65-74.

- Dinas Pertanian Kota Bandar Lampung. 2024. Bandar Lampung.
- Dinas Perumahan dan Permukiman Kota Bandar Lampung. 2024. Bandar Lampung.
- Ditami, Ane Arifa. 2023. "Analisis Hubungan Fenomena Urban Heat Island (Studi Kasus: Kota Metro Tahun 2018 - 2021)." Program Studi Teknik Geodesi Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung.
- Dwiprabowo, Hariyatno. 2018. *Dinamika Tutupan Lahan: Pengaruh Faktor Sosial Ekonomi*.
- Earth Observing System. 2023. *Earth Observing System Data Analytics*. Diakses 1 Desember 2023, dari <https://eos.com/make-an-analysis/ndvi/>.
- Environmental Protection Agency. 2024. "Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies." U.S. Environmental Protection Agency.
- Garcia, A. R., Filipe, S. B., Fernandes, C., Estevão, C., dan Ramos, G. (n.d.). *Metro dalam angka 2015*.
- Indriani, M. A. 2018. "Estimasi Cadangan Karbon Sebagai Indikator Hijau Di Wilayah Pembangkit Listrik." *Jurnal Tekno Global UIGM Fakultas Teknik*, 6(1), 38–44.
- Jeevalakshmi, D., Narayana Reddy, S., and Manikiam, B. 2017. "Land Surface Temperature Retrieval from LANDSAT data using Emissivity." *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(20), 9679-9688.
- Karizal, I. 2013. "Skenario Perubahan Penggunaan Lahan Berdasarkan Emisi Rendah Karbon Di Daerah Aliran Sungai Maros." *Prosiding Seminar Nasional Agroforestri IV*.
- Kaswanto, R. L., Aurora, R. M., Yusri, D., dan Sjaf, S. 2021. "Analisis Faktor Pendorong Perubahan Tutupan Lahan selama Satu Dekade di Kabupaten Labuhanbatu Utara." *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(1), 107–116.
- Kurniawati, U. F. 2021. "Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Besaran Stok Karbon di Kota Surabaya." *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kusumawardhani, Ismi, D., dan Gernowo, R. 2015. "Analisis Perubahan Iklim Berbagai Variabilitas Curah Hujan Dan Emisi Gas Metana (Ch4) Dengan Metode Grid Analysis And Display System (Grads) Di Kabupaten Semarang." *Youngster Physic Journal*, 4(1), 49–54.

- Latue, P. C., Septory, J. S. I., dan Rakuasa, H. 2023. "Perubahan Tutupan Lahan Kota Ambon Tahun 2015, 2019 dan 2023." *Jurnal Pendidikan Geografi*, 10(1), 177–186.
- Li, M., and Gong, J. 2021. "Optimizing accuracy assessment of landcover classification: A comparative analysis of sampling strategies." *Remote Sensing Letters*, 12(4), 330-339.
- Lukiawan, R., Hari, E., dan Ayundyahrini, M. 2019. "Manfaat Bagi Pengguna Standards of Geometric Correction of Satellite Images Medium Resolution and." *Prosiding Seminar Nasional Geomatika*.
- Manuri, S., Agung, C., dan Dwi, A. 2011. *Teknik Pencadangan Carbon*. Bogor: Center for International Forestry Research (CIFOR).
- Moh Firdaus Rahawarin. 2025. "Biomassa Tumbuhan Bawah Pada Berbagai Tipe Hutan Alam Di Negeri Hatusua, Provinsi Maluku." *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*, [Volume dan Halaman belum tersedia].
- Mustafa, Pinton Setya. 2023. "Tinjauan Literatur Analisis Uji R Berganda dan Uji Lanjut dalam Statistik." *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(12), 575-585.
- Nasehi, Saeedeh, Ahmadrza Yavari, Esmail Salehi, and Rohinton Emmanuel. 2022. "Role of Local Climate Zone and Space Syntax on Land Surface." *Urban Climate*, 45, 101245.
- Ndossi, M. I., and Avdan, U. 2024. "Validation of Mono-Window Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval for Landsat 9 TIRS-2 Sensor." *Geomatics*, 4(1), 1-17.
- Noer, M., dan Wibowo, A. 2024. "Identifikasi Perubahan Tutupan Lahan dengan Metode Klasifikasi Terbimbing menggunakan Data Google Earth." *Jurnal Geodesi dan Geomatika*, 12(1), 32–41.
- Nugroho, S. B., Nuha, M. U., dan Sutikno, S. 2022. "Analisis Akurasi Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Metode Support Vector Machine (SVM) dan Random Forest (RF) pada Citra Sentinel-2 (Studi Kasus: Kabupaten Sleman)." *Jurnal Geografi Indonesia*, 7(2), 112–120.
- Nurazizah, R. 2022. "Pemanfaatan citra penginderaan jauh dalam bidang kelautan." *Skripsi*. Universitas Negeri Surabaya.
- Obilor, E. I., and Amadi, E. C. 2018. "Test for Significance of Pearson's Correlation Coefficient (r)." *International Journal of Innovative Mathematics, Statistics & Energy Policies*, 6(1), 11-23.

- Pandora, Olivia. 2020. "Strategi Peremajaan Kawasan Permukiman Kumuh Kelurahan Wonokusumo Kota Surabaya berdasarkan Prinsip Goals 11 Sustainable Development Goals (SDGS)." Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Pratiwi, Arik Yumna. 2020. "Analisis Perubahan Distribusi Urban Heat Island (Uhi) Di Kota Surabaya Menggunakan Citra Satelit Landsat Multitemporal." Skripsi. Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Pratiwi, Y., Rejo, A., Fariani, A., and Faizal, M. 2022. "Modelling for Estimation Carbon Stocks in Land Cover Using A System Dynamic Approach (Case Study: Prabumulih City, South Sumatera, Indonesia)." *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 28(3), 221–231.
- Purwantara, Suhadi. 2015. "Studi Temperatur Udara Terkini Di Wilayah Di Jawa Tengah Dan Diy." *Geomedia*, 13(1), 1-10.
- Putri, R., dan Jaelani, L. M. 2017. "Analisis Perubahan Tutupan Lahan Daerah Aliran Sungai Rawapening dengan Sentinel-1A Tahun 2015-2016." *Jurnal Teknik ITS*, 6(2).
- Rajani, A., and Varadarajan, S. 2021. "Estimation and Validation of Land Surface Temperature by using Remote Sensing dan GIS for Chittoor District, Andhra Pradesh." *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12(10), 5782-5790.
- Rezekiah, A. A., Fithria, A., Syam'ani, Shiba, Y. N., dan Najla, S. 2024. Cadangan Karbon Pada Berbagai Tipe Tutupan Lahan Di Kalimantan Selatan.
- Rizki, F. P., Hermawan, E., dan Susanto, A. 2024. "Penyerapan Karbon Berdasarkan Perubahan Tutupan Lahan Pada Taman Nasional Tesso Nilo." *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 187–204.
- Saefullah, Aep. 2021. *Statistik Untuk Penelitian*. Tangerang Selatan: Pusat Penerbit STIE Ganesha.
- Saputra, R., Tjahjono, B., dan Pravitasari, A. E. 2022. "Analisis Kemandirian Pangan Berbasis Perubahan Penggunaan Lahan di Kota Metro, Provinsi Lampung." *Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Kota*, 18(4), 336–350.
- Satellite Imaging Corporation. 2020. Sentinel-2A Satellite Sensor (10m). Diakses dari <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/sentinel-2a/>.

- Sekertekin, A., and Bonafoni, S. 2020. "Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8-TIRS with Split-Window and Mono-Window Algorithms in a Mediterranean Region." *Remote Sensing*, 12(12), 1955.
- Umardani, Rudy, Andang Saehu, and Aminudin Zuhairi. 2023. "Developing Students' Descriptive Reading Skills And Critical Thinking Through The Scaffolding Strategy Using Google Workspace For Education (Gwe)." *Jurnal Visi Ilmu Pendidikan*, 15(1), 1-10.
- U.S. Geological Survey (USGS). 2022. *Landsat Normalized Difference Vegetation Index*.
- Wahyuni, Nurlita Indah, Abdul Wahid Hasyim, dan Soemarno. 2021. "Dinamika Perubahan Penggunaan dan Tutupan Lahan di Kabupaten Banyuwangi." *Jurnal Wasian*, 8(2), 120-131.
- Wang, Lei, Yao Lu, and Yunlong Yao. 2019. "Comparison of Three Algorithms for the Retrieval of Land Surface Temperature from Landsat 8 Images." *Sensors*, 19(22), 5035.
- Willmott, C. J., and Matsuura, K. 2005. "Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in model performance evaluation." *Climate Research*, 30, 79-82.
- Wulansari, Debora Ika, Mochamad Firman Ghazali, dan Armijon. 2023. "Perubahan Distribusi Spasial Permukiman." *Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, 6(1), 1-8.
- Yusuf, Y., Mustofa, M. A, and Navratilova, E. 2021. "Evaluation of Land Surface Temperature (LST) retrieval using mono-window and split-window algorithms from Landsat 8 OLI/TIRS data (Case study: shallow geothermal potential in West Java)." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 737(1), 012011.
- Zahro, Haura, Sobirin, dan Adi Wibowo. 2018. "Variasi spasiotemporal urban heat island di kawasan." *Jurnal Geografi Lingkungan Tropik*, 2(1), 1-10.
- Zanter, K. 2019. *Landsat 8 Data Users Handbook Version 5.0*. Sioux Falls, South Dakota: U.S. Geological Survey.