

**MITIGASI PERUBAHAN SUHU PERMUKAAN TANAH TERHADAP  
RESPON VEGETASI PERKOTAAN  
BERBASIS ANALISIS CELLULAR AUTOMATA  
DI BANDAR LAMPUNG**

**(Tesis)**

**Oleh  
RENANDA ANDARI  
NPM 2220051013**



**PROGRAM STUDI MAGISTER PERENCANAAN WILAYAH DAN KOTA  
PASCASARJANA  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2026**

**MITIGASI PERUBAHAN SUHU PERMUKAAN TANAH TERHADAP  
RESPON VEGETASI PERKOTAAN  
BERBASIS ANALISIS CELLULAR AUTOMATA  
DI BANDAR LAMPUNG**

**Oleh  
RENANDA ANDARI**

**Tesis**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
MAGISTER PERENCANAAN WILAYAH DAN KOTA**

**Pada**

**Program Studi Magister Perencanaan Wilayah dan Kota  
Pascasarjana Multidisiplin Universitas Lampung**



**MAGISTER PERENCANAAN WILAYAH DAN KOTA  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2026**

## ABSTRACT

### **Mitigation of Land Surface Temperature Changes on Urban Vegetation Responses Based on Cellular Automata Analysis in Bandar Lampung**

by  
**Renanda Andari**

*Urban development in Bandar Lampung City over the past decade has been characterized by the expansion of built-up areas, leading to a decline in vegetation cover and alterations in surface thermal conditions. This study aims to analyze changes in vegetation density and built-up land, as well as their responses to land surface temperature during the periods of 2014, 2019, and 2024. The analysis employs a remote sensing approach integrated with Geographic Information Systems (GIS) using Landsat 8 imagery. Vegetation density is assessed using the Forest Canopy Density (FCD) method, while built-up areas are extracted through the Normalized Difference Built-up Index (NDBI). Land surface temperature is derived using the Land Surface Temperature (LST) parameter. The relationship between vegetation, built-up land, and land surface temperature is examined using multiple linear regression analysis. The results indicate a consistent decline in vegetation density accompanied by an increase in built-up land and rising land surface temperatures, particularly in areas experiencing high development intensity. Statistically, vegetation density shows a negative effect on LST, whereas built-up land exhibits a positive effect. In addition, this study develops mitigation scenarios through urban greening simulations based on the Cellular Automata method as an effort to control the increase in land surface temperature. These findings are expected to provide a scientific basis for spatial planning and sustainable urban environmental management in Bandar Lampung City.*

*Keywords: urban vegetation, built-up land, land surface temperature, urban heat island, Bandar Lampung*

## **ABSTRAK**

# **MITIGASI PERUBAHAN SUHU PERMUKAAN TANAH TERHADAP RESPON VEGETASI PERKOTAAN BERBASIS ANALISIS CELLULAR AUTOMATA DI BANDAR LAMPUNG**

**Oleh**

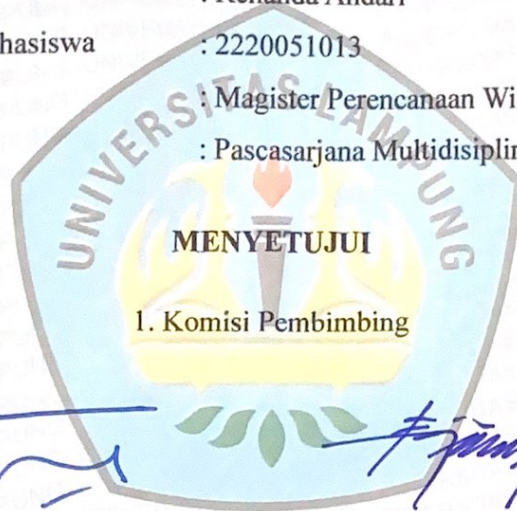
**Renanda Andari**


Perkembangan wilayah perkotaan di Kota Bandar Lampung dalam satu dekade terakhir ditandai oleh meningkatnya kawasan terbangun yang berimplikasi pada penurunan tutupan vegetasi dan perubahan kondisi termal permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan kerapatan vegetasi dan lahan terbangun serta responnya terhadap suhu permukaan tanah selama periode 2014, 2019, dan 2024. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan memanfaatkan citra Landsat 8. Kerapatan vegetasi dianalisis menggunakan metode *Forest Canopy Density* (FCD), sedangkan lahan terbangun diekstraksi melalui *Normalised Difference Built-up Index* (NDBI). Suhu permukaan tanah dihitung berdasarkan parameter *Land Surface Temperature* (LST). Untuk menguji hubungan antara vegetasi, lahan terbangun, dan suhu permukaan tanah, digunakan analisis regresi linier berganda. Hasil penelitian menunjukkan adanya kecenderungan penurunan kerapatan vegetasi yang diikuti oleh peningkatan luas lahan terbangun dan kenaikan suhu permukaan tanah, terutama pada wilayah dengan intensitas pembangunan tinggi. Secara statistik, kerapatan vegetasi berpengaruh negatif terhadap LST, sementara lahan terbangun berpengaruh positif. Selain itu, penelitian ini mengembangkan skenario mitigasi melalui simulasi *urban greening* berbasis metode *Cellular Automata* sebagai upaya pengendalian peningkatan suhu permukaan tanah. Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam perencanaan tata ruang dan pengelolaan lingkungan perkotaan yang berkelanjutan di Kota Bandar Lampung.


Kata kunci: vegetasi perkotaan, lahan terbangun, suhu permukaan tanah, *urban heat island*, Bandar Lampung

Judul Tesis : MITIGASI PERUBAHAN SUHU  
PERMUKAAN TANAH TERHADAP  
RESPON VEGETASI PERKOTAAN  
BERBASIS ANALISIS CELLULAR  
AUTOMATA DI BANDAR LAMPUNG

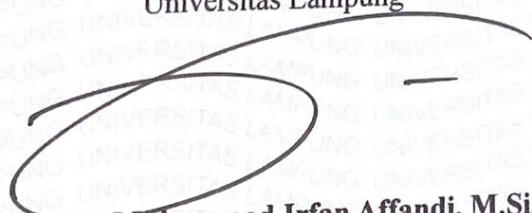
Nama Mahasiswa : Renanda Andari  
Nomor Pokok Mahasiswa : 2220051013  
Program Studi : Magister Perencanaan Wilayah dan Kota  
Fakultas : Pascasarjana Multidisiplin



  
**Dr. Ir. Citra Persada, M.Sc.**  
NIP 196511081995012001

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

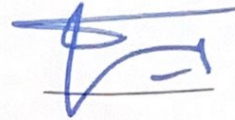
2. Ketua Program Studi Magister Perencanaan Wilayah dan Kota  
Universitas Lampung

  
**Prof. Ir. Muhammad Irfan Affandi, M.Si.**  
NIP 196407241989021002

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Ir. Citra Persada, M.Sc.**



Sekretaris : **Dr. Fajriyanto, S.T., M.T.**



Penguji Bukan Pembimbing : **Dr. Henky Mayaguezz S.Pi., M.T.**



Anggota : **Dr. Arief Darmawan, S.Hut., M.Sc.**



2. Direktur Pascasarjana Universitas Lampung



**Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.**

NIP 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Tesis : 7 April 2026

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tesis dengan judul :”MITIGASI PERUBAHAN SUHU PERMUKAAN TANAH TERHADAP RESPON VEGETASI PERKOTAAN BERBASIS ANALISIS CELLULAR AUTOMATA DI BANDAR LAMPUNG” adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme,
2. Hak intelektual atas karya saya ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya, saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 3 Mei 2026

Penulis,



**Renanda Andari**

NPM 2220051013

## **RIWAYAT HIDUP**

Segala Puji kehadiran Allah SWT, Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, 11 Maret 1992. Penulis merupakan anak pertama pasangan Rayendra, BE. dan Dra. Yunaida Djalinas. Renanda Andari, menyelesaikan sekolah dasar di SDN 2 Rawa Laut Bandar Lampung tahun 2004, sekolah menengah pertama di SMPN 14 Bandar Lampung tahun 2007, sekolah menengah atas SMAN 3 Bandar Lampung tahun 2010 dan sarjana S1 Teknik Geodesi dan Geomatika dari Institut Teknologi Nasional Bandung 2016. Memiliki pengalaman sebagai Surveyor Hidrogafi, PT. Damarwuri Utama Bandung, terlibat dalam perencanaan peta tol laut Papua. Sekarang bekerja sebagai Pranata Laboratorium Pendidikan di Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung. Terampil dalam penggunaan Autocad, ArcGIS, Mapsource dan software analisis Geospasial.

Narahubung: [rena.andari.ra@gmail.com](mailto:rena.andari.ra@gmail.com)

## **PERSEMBAHAN**

This research is dedicated to my beloved parents, who raised me with boundless love and sacrifice. Thank you for all the knowledge, life values, and endless prayers, as well as for your patience in accompanying every step of my journey.

To my beloved daughter, Razana, may the sadness and loneliness you felt while waiting for your mother to pursue knowledge be repaid with happiness in the future. May this also serve as an example for you to continue seeking knowledge without end.

To my siblings, friends, and colleagues, I sincerely thank you for your moral and material support, and for accepting me as I am.

May Allah always bless us all.

## SANWACANA

Assalamu'alaikum wr. wb.

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Tesis ini berjudul “**Mitigasi Perubahan Suhu Permukaan Tanah Terhadap Respon Vegetasi Perkotaan Berbasis Analisis Cellular Automata Di Bandar Lampung**”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat konversi lahan, menganalisis status keberlanjutan dan memodelkan strategi rencana pengembangan sawah baru. Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak untuk perbaikan di masa mendatang. Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., sebagai Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Irfan Affandi, M.Si., selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Perencanaan Wilayah dan Kota.
4. Dr. Ir. Citra Persada, M.Sc., dan Dr. Fajriyanto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan ilmu, bimbingan, saran, pengarahan, motivasi, dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
5. Dr. Henky Mayaguezz S.Pi., M.T. dan Dr. Arief Darmawan, S.Hut., M.Sc., sebagai Dosen Penguji atas saran, kritik, dan arahan yang diberikan untuk perbaikan tesis ini.
6. Seluruh dosen Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota Pascasarjana Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan pengalaman selama penulis menjadi mahasiswa, serta staf/karyawan yang memberikan bantuan dan kerja samanya selama ini.

7. Kedua orang tuaku tercinta, Mama (Dra. Yunaida Djalinas Jambak) dan Papa (Rayendra, BE.) yang selalu memberikan motivasi, dukungan, doa restu, kasih sayang, perhatian yang tak pernah terputus, adikku (Faisal Rachman, S.T. dan dr.Redina Andini), serta keluarga besar atas semua limpahan kasih sayang, doa, nasihat, semangat, kebahagiaan, dan perhatian yang tak pernah putus kepada penulis selama ini. Dan untuk anakku Razana Chayra Hidayat, semoga karya ini dapat menginspirasi untuk terus belajar dan meraih mimpi-mimpi.
8. Terima kasih kepada Dr. Citra Dewi, ST., M.Eng, Rahma Anisa S.T, M.Eng. , dan Irmalia Murniati, SH. selaku Dosen dan Staff Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika yang telah memberikan dukungan moril dan materil.
9. Teman-teman seperjuangan Angkatan 2022 di Magister Perencanaan Wilayah dan Kota Universitas Lampung atas semangat berjuang dan bantuan yang diberikan kepada penulis selama ini.
10. Teman-teman seperjuangan OTW Wisuda 2025 di Magister Perencanaan Wilayah dan Kota Universitas Lampung atas semangat berjuang dan bantuan yang diberikan kepada penulis selama ini.
11. Sahabat ku Vanessa Paradais dan Suci Purnama Sari yang selalu mendukung setiap langkah kehidupan.
12. Semua pihak yang telah memberikan dukungan dan membantu penulis hingga terselesaikan tesis ini.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Bandar Lampung, Mei 2026

Penulis,

Renanda Andari

## DAFTAR ISI

### Halaman

<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	6
1.4. Manfaat Penelitian.....	6
1.5. Ruang Lingkup.....	8
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>10</b>
2.1. Tinjauan Pustaka .....	10
2.1.1. Teori Kerapatan Vegetasi.....	10
2.1.2. Lahan Terbangun .....	11
2.1.3. <i>Urban Heat Island</i> (UHI) .....	13
2.1.4. Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Penataan Ruang.....	14
2.1.5. Pertumbuhan Ekonomi Wilayah Perkotaan.....	17
2.1.6. Pertumbuhan Penduduk Di Wilayah Perkotaan .....	18
2.1.7. Perkembangan Infrastruktur Wilayah Perkotaan.....	19
2.1.8. Penginderaan Jauh.....	20
2.1.9. Pengolahan Sistem Informasi Geografis (SIG) .....	23
2.1.10. <i>Forest Canopy Density</i> (FCD).....	24
2.1.11. <i>Normalized Difference Built-up Index</i> (NDBI) .....	28
2.1.12. <i>Land Surface Temperature</i> (LST).....	29
2.1.13. Citra Satelit Landsat 8 .....	32

2.1.14. <i>Google Earth Engine</i> .....	34
2.1.15. Uji Akurasi Matriks Kesalahan ( <i>Confusion Matrix</i> ) .....	36
2.1.16. Uji Regresi Linier Berganda pada Kerapatan Vegetasi dan Lahan Terbangun terhadap <i>Land Surface Temperature</i> (LST).....	37
2.1.17. Perubahan Tutupan Lahan .....	38
2.1.18. Mitigasi Kenaikan Suhu Permukaan Tanah dengan <i>Urban Greening</i> dengan Metode <i>Cellular Automata</i> .....	40
2.1.19. Metode <i>Cellular Automata</i> .....	41
2.1.20. Skema <i>Urban Greening</i> Skenario Laju Ekspansi.....	48
2.2. Penelitian Terdahulu.....	49
<b>2.3. Hipotesis .....</b>	<b>57</b>
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>59</b>
3.1. Metode Penelitian.....	59
3.2. Konsep Dasar dan Definisi Tahapan Penelitian .....	63
3.3. Lokasi, <i>Sample Ground checking</i> dan Waktu Penelitian.....	64
3.3.1. Tahapan Pelaksanaan.....	66
3.3.2. Tahap Pengolahan Data .....	66
3.3.3. Analisis Regresi Linier Berganda.....	71
3.3.4. Analisis Mitigasi Perubahan Suhu Permukaan Tanah.....	72
<b>IV. GAMBARAN UMUM PENELITIAN .....</b>	<b>76</b>
4.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian .....	76
4.1.2. Perubahan Vegetasi Berdampak Dalam Segala Aspek.....	79
4.1.3. Kondisi Penggunaan Lahan dan Perkembangan Perkotaan Terkini.....	80
4.2. Peta Topografi/Ketinggian ( <i>Digital Elevation Model/DEM</i> ).....	81
4.2.1. Peta Penggunaan Lahan <i>Eksisting</i> Kota Bandar Lampung tahun 2024 .....	84
<b>V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>86</b>
5.1. Analisis Perubahan Lahan.....	86
5.1.1. Analisis Kerapatan Vegetasi .....	86
5.1.2. Analisis Kerapatan Bangunan .....	93
5.1.3. Analisis Perhitungan <i>Land Surface Temperature</i> (LST).....	99
5.2. Analisis Matriks Konfusi Vegetasi dan Lahan Terbangun.....	107
5.2.1. Analisis Faktor Perubahan Lahan di Kota Bandar Lampung	111
5.2.2. Analisis Uji Regresi Linier Berganda.....	129

5.3. Analisis Strategis Perubahan Suhu Permukaan Tanah Di Kota Bandar Lampung.....	137
5.3.1. Mitigasi <i>Urban Heat Island</i> (UHI) Menggunakan <i>Cellular Automata</i> pada Kawasan Perkotaan Bandar Lampung .....	137
5.3.2. Skema <i>Urban Greening</i> Skenario Laju Ekspansi.....	151
<b>VI. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>154</b>
6.1. Kesimpulan.....	154
6.2. Saran.....	157
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>158</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>164</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1 Klasifikasi FCD.....	27
2. Klasifikasi NDBI.....	29
3. Klasifikasi LST .....	32
4. Pengelompokan Data Matriks Kesalahan (Confusion Matrix) .....	36
5. Penggunaan Data serta Penggunaan Aplikasi .....	48
6. Penelitian Terdahulu.....	50
7. Pengolahan Data Vegetasi, Lahan Terbangun, dan LST .....	64
8. Matriks Kesalahan.....	70
9. Kategori tingkat konversi lahan .....	71
10. Klasifikasi FCD.....	86
11. Proporsi vegetasi berdasarkan wilayah per-kecamatan di Kota BandarLampung.....	90
12. Klasifikasi NDBI.....	93
13. Proporsi lahan terbangun berdasarkan wilayah per-kecamatan di Kota Bandar Lampung .....	94
14. Suhu permukaan tanah di Kota Bandar Lampung .....	100
15. Suhu permukaan tanah berdasarkan wilayah per-kecamatan di Kota Bandar Lampung .....	100
16. Suhu permukaan tanah berdasarkan wilayah per-kecamatan di Kota Bandar Lampung .....	106
17. Curah Hujan Bulanan Kota Bandar Lampung Tahun 2014, 2019, dan 2024	106
18. Pengolahan Uji Akurasi Matrix Confusion Data Ground Check.....	108
19. Hasil Pengolahan Matriks Konfusi .....	109
20. Luas Klasifikasi Pengolahan Vegetasi Kota Bandar Lampung 2014,2019,2024 .....	114

21. Luas Klasifikasi Pengolahan Vegetasi per-Kecamatan Kota Bandar Lampung 2014,2019,2024.....	115
22. Jumlah Penduduk Kota Bandar Lampung, 2014,2019,2024.....	118
23. Luas Lahan Terbangun Kota Bandar Lampung 2014,2019,2024 .....	122
24. Data PDRB Kota Bandar Lampung 2014,2019,2024 .....	126
25. Analisis Uji Regresi.....	129
26. Ringkasan Hasil Regresi Linier Berganda Vegetasi Tahun 2014, 2019, dan 2024.....	137
27. Skema Aturan Transisi Cellular Automata (CA) untuk Proyeksi Vegetasi ...	141
28. Ketersediaan Vegetasi sebagai Urban greening (Ha) .....	145
29. Analisis Strategis UHI di Kota Bandar Lampung.....	150

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
1. Proses Penginderaan Jauh .....	20
2. Citra Satelit.....	21
3. Konsep <i>Cellular Automata Urban greening Simulation</i> .....	41
4. Kerangka Konsep Penelitian .....	62
5. Peta Administrasi Kota Bandar Lampung.....	65
6. Peta Administrasi Kota Bandar Lampung.....	78
7. Peta Kemiringan Kota Bandar Lampung 2024 .....	83
8. Peta Penggunaan Lahan <i>Eksisting</i> Kota Bandar Lampung tahun 2024.....	85
9. Hasil Pengolahan Citra Satelit Landsat 8 untuk melihat perubahan vegetasi tahun 2014 .....	87
10. Hasil Pengolahan Citra Satelit Landsat 8 untuk melihat perubahan vegetasi tahun 2019 .....	88
11. Hasil Pengolahan Citra Satelit Landsat 8 untuk melihat perubahan vegetasi tahun 2024 .....	89
12. Grafik Perbandingan FCD per-Kecamatan .....	92
13. Hasil Pengolahan Citra Satelit Landsat 8 untuk melihat perubahan lahan terbangun tahun 2014 .....	95
14. Hasil Pengolahan Citra Satelit Landsat 8 untuk melihat perubahan lahan terbangun tahun 2019 .....	96
15. Hasil Pengolahan Citra Satelit Landsat 8 untuk melihat perubahan lahan terbangun tahun 2024 .....	97
16. Perubahan Proporsi Lahan Terbangun 2014 .....	99
17. Hasil Pengolahan Citra Satelit Landsat 8 untuk melihat perubahan suhu permukaan tanah tahun 2014.....	101
18. Hasil Pengolahan Citra Satelit Landsat 8 untuk melihat perubahan suhu permukaan tanah tahun 2019.....	102

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
19. Hasil Pengolahan Citra Satelit Landsat 8 untuk melihat perubahan suhu permukaan tanah tahun 2024.....	103
20. Pengolahan Rata-rata Suhu Permukaan Tanah 2019.....	105
21. Hasil Pengolahan fish net untuk Regresi Linier.....	130
22. Hasil Regresi OLS dan Uji t Variabel Penentu <i>Forest Canopy Density</i> Tahun 2014.....	131
23. Hasil Regresi OLS dan Uji t Variabel Penentu <i>Forest Canopy Density</i> Tahun 2019.....	133
24. Hasil Regresi OLS dan Uji t Variabel Penentu <i>Forest Canopy Density</i> Tahun 2024.....	137
25. <i>Script Cellular Automata Urban greening</i> .....	139
26. Skema <i>Urban Greening</i> Kota Bandar Lampung 2025.....	142
27. Skema <i>Urban Greening</i> Kota Bandar Lampung 2034.....	143
28. Skema <i>Urban Greening</i> Kota Bandar Lampung 2044.....	143
29. Sempadan Jalan sebagai <i>Green Infrastructure</i> .....	148
30. Sempadan Sungai sebagai <i>Green Infrastructure</i> .....	149
31. Ilustrasi Mitigasi Kenaikan Suhu Permukaan Tanah.....	149
32. <i>Vertical Green Building</i> .....	150

**DAFTAR LAMPIRAN**

<b>Lampiran</b>	<b>Halaman</b>
1. Data Lapangan .....	172

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Bandar Lampung sebagai salah satu kota besar di Provinsi Lampung mengalami pertumbuhan wilayah perkotaan yang pesat dalam beberapa dekade terakhir. Pertumbuhan tersebut ditandai oleh meningkatnya jumlah penduduk, ekspansi kawasan terbangun, serta percepatan pembangunan infrastruktur yang secara langsung mendorong terjadinya perubahan penggunaan dan penutupan lahan. Perkembangan kawasan permukiman, pusat perdagangan, jaringan transportasi, dan fasilitas perkotaan lainnya menyebabkan terjadinya konversi lahan vegetasi menjadi area terbangun secara masif. Kondisi ini mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan perkotaan dan meningkatkan tekanan ekologis terhadap sistem lingkungan Kota Bandar Lampung.

Vegetasi merupakan komponen penting dalam ekosistem perkotaan karena berperan dalam menjaga keseimbangan lingkungan, antara lain melalui pengaturan siklus hidrologi, pengendalian erosi tanah, peningkatan kualitas udara, penyerapan karbon dioksida, serta pengendalian suhu lingkungan. Keberadaan vegetasi mampu menurunkan suhu permukaan melalui proses evapotranspirasi dan efek peneduhan kanopi, sehingga berfungsi sebagai pengendali iklim mikro perkotaan. Namun demikian, laju urbanisasi yang tinggi di Kota Bandar Lampung menyebabkan terjadinya degradasi tutupan vegetasi secara bertahap, baik berupa hutan kota, ruang terbuka hijau, maupun vegetasi alami lainnya. Perubahan tersebut tidak hanya berdampak pada penurunan kualitas ekologis, tetapi juga meningkatkan kerentanan wilayah perkotaan terhadap fenomena pemanasan permukaan.

Salah satu dampak utama dari meningkatnya dominasi lahan terbangun adalah munculnya fenomena *Urban Heat Island* (UHI), yaitu kondisi ketika kawasan perkotaan memiliki suhu permukaan yang lebih tinggi dibandingkan wilayah di sekitarnya. Fenomena ini terjadi akibat dominasi material terbangun seperti beton, aspal, dan atap bangunan yang memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap dan menyimpan panas matahari, namun rendah dalam melepaskan kelembapan ke atmosfer. Berkurangnya vegetasi memperparah kondisi tersebut karena menurunkan kapasitas pendinginan alami lingkungan perkotaan. Dengan demikian, peningkatan lahan terbangun menjadi salah satu faktor dominan yang berkontribusi terhadap peningkatan suhu permukaan tanah di kawasan perkotaan.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Seletkovic dkk. (2022) menunjukkan bahwa degradasi vegetasi berkontribusi signifikan terhadap peningkatan suhu permukaan tanah melalui fenomena UHI. Selain dipengaruhi oleh penurunan vegetasi, intensifikasi pembangunan perkotaan dan perluasan kawasan terbangun juga terbukti memiliki hubungan yang kuat terhadap peningkatan *Land Surface Temperature* (LST). Kondisi ini menunjukkan bahwa transformasi ruang perkotaan yang tidak terkendali dapat mempercepat terjadinya ketidakseimbangan termal di lingkungan perkotaan.

Dampak fenomena UHI tidak hanya bersifat ekologis, tetapi juga menimbulkan ancaman serius terhadap aspek kesehatan masyarakat perkotaan. Peningkatan suhu permukaan dan suhu udara perkotaan dapat meningkatkan risiko gangguan kesehatan seperti dehidrasi, *heat stress*, kelelahan panas, gangguan sistem pernapasan, hingga meningkatnya risiko penyakit kardiovaskular, terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak dan lanjut usia. Selain itu, suhu lingkungan yang tinggi juga berpengaruh terhadap peningkatan konsumsi energi akibat penggunaan pendingin ruangan yang berlebihan, penurunan kenyamanan termal masyarakat, serta menurunkan kualitas hidup penduduk perkotaan secara umum. Oleh karena

itu, fenomena UHI telah menjadi isu strategis dalam perencanaan kota berkelanjutan dan mitigasi perubahan lingkungan perkotaan.

Hubungan antara vegetasi, lahan terbangun, dan suhu permukaan tanah bersifat kompleks dan saling memengaruhi. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa respon suhu permukaan tanah merupakan hasil interaksi antara kondisi biofisik dan struktur ruang perkotaan. Dalam konteks ini, teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) banyak dimanfaatkan untuk memetakan dan menganalisis perubahan vegetasi dan lahan terbangun secara spasial dan temporal. *Forest Canopy Density* (FCD) telah digunakan untuk merepresentasikan tingkat kerapatan kanopi vegetasi secara lebih rinci, sementara *Normalised Difference Built-up Index* (NDBI) efektif dalam mengekstraksi informasi lahan terbangun. Selain itu, *Land Surface Temperature* (LST) menjadi indikator utama dalam mengkaji fenomena UHI dan perubahan suhu permukaan tanah perkotaan.

Penelitian oleh Arifin (2021) menunjukkan bahwa peningkatan lahan terbangun yang teridentifikasi melalui NDBI berkorelasi positif dengan peningkatan LST, sedangkan keberadaan vegetasi berperan sebagai penurun suhu melalui mekanisme evapotranspirasi dan efek peneduhan kanopi. Infrastruktur hijau perkotaan, seperti hutan kota dan ruang terbuka hijau, dipandang sebagai elemen penting dalam mitigasi peningkatan suhu permukaan tanah. Namun demikian, efektivitas infrastruktur hijau sangat bergantung pada distribusi, luas, dan kerapatan vegetasi dalam ruang perkotaan yang terus mengalami tekanan pembangunan.

Pemetaan perubahan vegetasi, lahan terbangun, dan suhu permukaan tanah dapat dilakukan secara efektif dengan memanfaatkan citra satelit penginderaan jauh yang memiliki cakupan wilayah luas dan ketersediaan data multitemporal. Melalui pendekatan ini, perubahan penggunaan lahan dan respon termal wilayah perkotaan dapat dianalisis secara objektif dan berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis

faktor perubahan vegetasi dan respon suhu permukaan tanah di Kota Bandar Lampung selama tiga periode waktu, yaitu tahun 2014, 2019, dan 2024, dengan menggunakan pendekatan *Forest Canopy Density* (FCD), *Normalised Difference Built-up Index* (NDBI), dan *Land Surface Temperature* (LST). Analisis ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah yang kuat dalam upaya mitigasi degradasi lingkungan, pengendalian fenomena UHI, serta perencanaan penggunaan lahan perkotaan yang lebih berkelanjutan.

Meskipun berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji hubungan antara vegetasi, lahan terbangun, dan suhu permukaan tanah, kajian yang secara khusus membahas dinamika perubahan tersebut di Kota Bandar Lampung masih memiliki keterbatasan. Penelitian-penelitian sebelumnya umumnya dilakukan dalam rentang waktu pengamatan yang relatif singkat dan lebih bersifat deskriptif, sehingga belum mampu menggambarkan pola perubahan vegetasi dan respon suhu permukaan tanah secara komprehensif dalam jangka menengah hingga panjang. Selain itu, sebagian besar studi masih menggunakan indeks vegetasi umum seperti NDVI yang kurang mampu merepresentasikan tingkat kerapatan kanopi vegetasi secara detail pada kawasan perkotaan yang heterogen dan padat terbangun.

Lebih lanjut, penelitian terdahulu di Bandar Lampung belum banyak mengintegrasikan faktor-faktor perkotaan yang bersifat struktural dan sosial-ekonomi, seperti pertumbuhan penduduk, perkembangan infrastruktur, dan aktivitas ekonomi wilayah ke dalam model analisis kuantitatif yang menguji pengaruhnya secara simultan terhadap perubahan suhu permukaan tanah. Di sisi lain, meskipun strategi mitigasi UHI sering direkomendasikan melalui peningkatan ruang terbuka hijau, masih sangat terbatas penelitian yang mengembangkan simulasi spasial berbasis *Cellular Automata* untuk memodelkan skenario *Urban Greening* sebagai respon terhadap peningkatan suhu permukaan tanah yang berbasis kondisi empiris lokal. Oleh karena itu, penelitian ini berupaya mengisi celah ilmiah tersebut

melalui analisis perubahan vegetasi dan lahan terbangun secara multitemporal (2014, 2019, dan 2024), pengujian pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap LST menggunakan pendekatan regresi linier berganda, serta pengembangan skenario mitigasi berbasis *Cellular Automata* yang kontekstual dengan karakteristik spasial Kota Bandar Lampung.

## 1.2. Rumusan Masalah

Vegetasi perkotaan memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan mengendalikan suhu permukaan tanah di wilayah perkotaan. Namun, pesatnya urbanisasi dan perkembangan kawasan terbangun di Kota Bandar Lampung diduga telah memicu perubahan tutupan dan kerapatan vegetasi dalam kurun waktu tertentu. Perubahan tersebut berpotensi memengaruhi dinamika suhu permukaan tanah dan memperkuat fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Oleh karena itu, diperlukan kajian yang mampu mengidentifikasi perubahan vegetasi secara spasial dan temporal serta menguji pengaruhnya terhadap suhu permukaan tanah secara kuantitatif. Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perubahan luas dan tingkat kerapatan vegetasi di Kota Bandar Lampung selama periode tahun 2014, 2019, dan 2024 berdasarkan analisis *Forest Canopy Density* (FCD)?
2. Bagaimana perubahan luas dan distribusi lahan terbangun di Kota Bandar Lampung selama periode tahun 2014, 2019, dan 2024 berdasarkan analisis *Normalised Difference Built-up Index* (NDBI)?
3. Bagaimana perubahan suhu permukaan tanah (*Land Surface Temperature*/LST) di Kota Bandar Lampung pada periode tahun 2014, 2019, dan 2024 serta pola spasialnya?
4. Sejauh mana pengaruh perubahan kerapatan vegetasi dan lahan terbangun terhadap perubahan suhu permukaan tanah di Kota Bandar Lampung berdasarkan analisis regresi linier berganda?

5. Bagaimana skenario mitigasi perubahan suhu permukaan tanah melalui pengembangan vegetasi perkotaan (*Urban Greening*) yang disimulasikan menggunakan metode *Cellular Automata* di Kota Bandar Lampung?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan urgensi perubahan vegetasi dan peningkatan kawasan terbangun yang berpotensi memengaruhi suhu permukaan tanah di wilayah perkotaan, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis perubahan luas dan tingkat kerapatan vegetasi di Kota Bandar Lampung selama periode tahun 2014, 2019, dan 2024 berdasarkan pendekatan *Forest Canopy Density* (FCD).
2. Mengidentifikasi perubahan luas dan distribusi lahan terbangun di Kota Bandar Lampung pada periode tahun 2014, 2019, dan 2024 menggunakan analisis *Normalised Difference Built-up Index* (NDBI).
3. Menganalisis perubahan suhu permukaan tanah (*Land Surface Temperature/LST*) serta pola spasialnya di Kota Bandar Lampung pada periode tahun 2014, 2019, dan 2024.
4. Menganalisis pengaruh perubahan kerapatan vegetasi dan lahan terbangun terhadap perubahan suhu permukaan tanah dan fenomena *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Bandar Lampung melalui pendekatan regresi linier berganda.
5. Menyusun skenario mitigasi perubahan suhu permukaan tanah melalui pengembangan vegetasi perkotaan (*Urban Greening*) berbasis analisis spasial menggunakan metode *Cellular Automata* di Kota Bandar Lampung.

### 1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diharapkan dapat diambil dari penelitian ini mencakup segi teoritis dan segi praktis, yaitu :

#### **1.4.1. Manfaat Teoritis**

a. Kontribusi terhadap Pengembangan Ilmu Pengetahuan

Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya kajian ilmiah mengenai hubungan antara perubahan vegetasi perkotaan, lahan terbangun, dan dinamika suhu permukaan tanah. Melalui pendekatan multitemporal dan analisis spasial berbasis penginderaan jauh, hasil penelitian ini dapat menjadi rujukan bagi pengembangan studi di bidang geografi, perencanaan wilayah dan kota, serta ekologi perkotaan.

b. Pemahaman Faktor-Faktor yang Memengaruhi Perubahan Vegetasi Perkotaan

Penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai faktor-faktor yang memengaruhi perubahan vegetasi di wilayah perkotaan, baik yang bersifat biofisik maupun antropogenik. Dengan mengintegrasikan variabel vegetasi, lahan terbangun, dan suhu permukaan tanah dalam analisis kuantitatif, penelitian ini diharapkan dapat memperjelas peran relatif masing-masing faktor dalam memengaruhi kondisi lingkungan perkotaan.

c. Penguatan Kerangka Konseptual Respon Perkotaan terhadap Perubahan Suhu Permukaan Tanah

Hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengembangan kerangka konseptual mengenai respon wilayah perkotaan terhadap perubahan suhu permukaan tanah melalui pengelolaan vegetasi. Kerangka ini dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan yang mengkaji hubungan antara struktur ruang perkotaan, vegetasi, dan kenyamanan termal secara lebih komprehensif.

#### **1.4.2. Manfaat Praktis**

a. Pendukung Perencanaan Tata Ruang dan Kebijakan Lingkungan Daerah

Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan pertimbangan bagi pemerintah daerah Kota Bandar Lampung dalam penyusunan dan evaluasi kebijakan penataan ruang, khususnya terkait penyediaan dan

pengelolaan ruang terbuka hijau (RTH) yang adaptif terhadap peningkatan suhu permukaan tanah.

b. Dasar Penyusunan Strategi Mitigasi *Urban Heat Island* (UHI)

Penelitian ini memberikan dasar empiris dalam perumusan strategi mitigasi perubahan suhu permukaan tanah dan fenomena *Urban Heat Island* melalui pengembangan vegetasi perkotaan. Informasi spasial yang dihasilkan dapat digunakan untuk menentukan lokasi prioritas penghijauan dan pengelolaan vegetasi secara lebih efektif.

c. Peningkatan Kesadaran dan Partisipasi Masyarakat

Informasi yang dihasilkan dari penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman dan kesadaran masyarakat mengenai pentingnya peran vegetasi perkotaan dalam menjaga kualitas lingkungan dan mengurangi dampak peningkatan suhu permukaan tanah. Kesadaran ini diharapkan mendorong partisipasi masyarakat dalam upaya pelestarian dan pengelolaan ruang hijau perkotaan.

c. Dukungan terhadap Pembangunan Perkotaan Berkelanjutan

Rekomendasi yang dihasilkan dari penelitian ini diharapkan dapat mendukung upaya mewujudkan pembangunan perkotaan yang berkelanjutan di Kota Bandar Lampung, dengan menyeimbangkan kebutuhan pembangunan fisik dan perlindungan lingkungan, khususnya dalam konteks adaptasi terhadap perubahan suhu permukaan tanah.

## 1.5. Ruang Lingkup

Penelitian ini difokuskan pada analisis perubahan kondisi lingkungan perkotaan di Kota Bandar Lampung dalam kurun waktu 2014, 2019, dan 2024 dengan pendekatan penginderaan jauh dan analisis spasial. Kajian mencakup perubahan kerapatan vegetasi menggunakan Forest Canopy Density (FCD), dinamika lahan terbangun berdasarkan *Normalised Difference Built-up Index* (NDBI), serta perubahan suhu permukaan tanah (Land Surface Temperature/LST).

Penelitian ini juga menganalisis hubungan antara vegetasi, lahan terbangun, dan suhu permukaan menggunakan regresi linier berganda untuk memahami kontribusi masing-masing variabel terhadap fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Selain itu, penelitian dibatasi pada simulasi skenario mitigasi melalui pengembangan vegetasi perkotaan (urban greening) dengan metode Cellular Automata (CA) untuk memproyeksikan kondisi masa depan secara spasial. Lokasi penelitian terbatas pada wilayah administrasi Kota Bandar Lampung.

- Periode analisis meliputi tahun 2014, 2019, dan 2024.
- Variabel utama yang dikaji meliputi FCD (vegetasi), NDBI (lahan terbangun), dan LST (suhu permukaan).
- Analisis hubungan antar variabel menggunakan regresi linier berganda.
- Simulasi dilakukan menggunakan metode Cellular Automata (CA) untuk skenario urban greening.
- Penelitian difokuskan pada aspek spasial dan tidak membahas secara mendalam aspek sosial-ekonomi.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Tinjauan Pustaka

#### 2.1.1. Teori Kerapatan Vegetasi

Kerapatan vegetasi adalah ukuran yang menggambarkan jumlah atau banyaknya individu tumbuhan (biasanya berupa pohon, semak, atau tanaman lainnya) dalam suatu area tertentu. Kerapatan ini biasanya dihitung berdasarkan jumlah individu per satuan luas (misalnya, individu per hektar) dan sering digunakan dalam ekologi, kehutanan, dan manajemen sumber daya alam untuk mengevaluasi kondisi ekosistem (Jensen, J.R, 2007).

Kerapatan vegetasi menunjukkan produktivitas ekosistem. Vegetasi yang rapat biasanya terkait dengan kemampuan lebih tinggi dalam menyerap karbon dan mendukung keanekaragaman hayati. Informasi tentang kerapatan membantu pengelolaan hutan untuk produksi kayu, konservasi, atau mitigasi perubahan suhu permukaan tanah. Perubahan kerapatan vegetasi dapat mengindikasikan degradasi lingkungan atau efek perubahan suhu permukaan tanah, seperti kekeringan atau deforestasi. (Malhi, Y., dkk, 2006).

Sebuah penelitian di hutan hujan tropis Amazon menemukan bahwa area dengan kerapatan vegetasi tinggi memiliki tingkat keanekaragaman hayati lebih tinggi dibandingkan area yang terganggu oleh aktivitas manusia (Malhi, Y., dkk, 2006). Sementara itu, penelitian menggunakan FCD menunjukkan bahwa kerapatan vegetasi global cenderung menurun di wilayah yang mengalami kekeringan panjang, seperti Afrika Sub-Sahara (Zhao dan Running, 2010).

### 2.1.2. Lahan Terbangun

Lahan terbangun adalah area yang telah diubah dari kondisi alami menjadi wilayah dengan infrastruktur buatan manusia seperti perumahan, industri, jalan, dan fasilitas umum lainnya. Dalam konteks tata ruang, lahan terbangun berperan penting dalam menunjang aktivitas manusia, termasuk tempat tinggal, pekerjaan, dan mobilitas. Namun, penggunaannya sering menimbulkan tantangan, terutama terkait degradasi lingkungan, perencanaan kota, dan keberlanjutan.

Transformasi lahan alami menjadi lahan terbangun sering didorong oleh pertumbuhan populasi, urbanisasi, dan kebutuhan ekonomi. Urbanisasi global, khususnya di negara berkembang, menyebabkan peningkatan pesat lahan terbangun. Misalnya, antara tahun 1990 hingga 2020, luas lahan terbangun di Asia Tenggara meningkat lebih dari dua kali lipat akibat ekspansi kota besar seperti Jakarta, Bangkok, dan Manila (Seto dkk., 2012). Lahan terbangun mencakup berbagai jenis penggunaan lahan, termasuk:

1. Perumahan (*Residential*)

Area yang digunakan untuk hunian, seperti rumah, apartemen, dan kompleks perumahan.

2. Komersial dan Industri

Lahan yang digunakan untuk kegiatan ekonomi seperti perkantoran, pusat perbelanjaan, pabrik, dan gudang.

3. Infrastruktur Transportasi

Jalan, rel kereta, bandara, dan pelabuhan termasuk dalam kategori ini.

4. Fasilitas Umum

Lahan untuk pendidikan, kesehatan, rekreasi, dan layanan publik lainnya.

- a. Dampak Positif:

- Pertumbuhan Ekonomi

Pembangunan infrastruktur mendukung produktivitas dan menciptakan lapangan kerja.

- Peningkatan Aksesibilitas

Infrastruktur transportasi memudahkan mobilitas dan distribusi barang.

- Perbaikan Kualitas Hidup  
Penyediaan fasilitas seperti perumahan, pendidikan, dan layanan kesehatan meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

b. Dampak Negatif:

- Degradasi Lingkungan  
Konversi lahan alami sering menyebabkan deforestasi, hilangnya habitat, dan penurunan kualitas tanah.
- *Urban Sprawl*  
Perluasan kota yang tidak terencana dapat menyebabkan ketidakseimbangan tata ruang, kemacetan, dan peningkatan emisi karbon.
- Krisis Air dan Lahan  
Lahan terbangun yang berlebihan mengurangi area resapan air, meningkatkan risiko banjir, dan mengganggu siklus hidrologi.

c. Tantangan dalam Pengelolaan Lahan Terbangun

- Perencanaan Tata Ruang  
Perencanaan yang buruk dapat menyebabkan konflik penggunaan lahan antara kebutuhan manusia dan kelestarian lingkungan. Solusi seperti zonasi dan pengelolaan berbasis ekosistem diperlukan untuk meminimalkan dampak negatif.
- Urbanisasi yang Tidak Berkelanjutan  
Kota-kota di negara berkembang sering menghadapi tekanan akibat urbanisasi cepat yang menyebabkan permukiman kumuh, tekanan infrastruktur, dan masalah kesehatan masyarakat.
- Perubahan Suhu permukaan tanah  
Lahan terbangun berkontribusi pada perubahan suhu permukaan tanah melalui pengurangan tutupan vegetasi, peningkatan emisi gas rumah kaca, dan efek pulau panas perkotaan (*Urban Heat Island*).

### 2.1.3. *Urban Heat Island (UHI)*

*Urban Heat Island (UHI)* adalah fenomena dimana area perkotaan memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah sekitarnya yang lebih *rural*. Fenomena ini merupakan akibat langsung dari aktivitas manusia yang mengubah lanskap alami menjadi area terbangun, seperti bangunan, jalan, dan infrastruktur lainnya. UHI memiliki dampak signifikan terhadap lingkungan, kesehatan masyarakat, dan konsumsi energi, sehingga penting untuk memahami penyebab, konsekuensi, dan langkah mitigasinya (Pratiwi, dkk., 2020). Penyebab *Urban Heat Island (UHI)* antara lain:

#### 1. Material Penyerap Panas

Material seperti beton, aspal, dan baja memiliki kapasitas tinggi untuk menyerap dan menyimpan panas matahari.

- *Albedo* rendah pada material ini menyebabkan lebih banyak energi matahari yang diserap.
- Pada malam hari, energi tersebut dilepaskan kembali ke atmosfer, meningkatkan suhu lingkungan.

#### 2. Kurangnya Vegetasi

Penggantian area hijau dengan infrastruktur mengurangi efek pendinginan alami yang dihasilkan oleh evapotranspirasi tumbuhan.

#### 3. Aktivitas Manusia

Emisi panas dari kendaraan, industri, dan penggunaan energi rumah tangga meningkatkan suhu lingkungan.

#### 4. Efek Geometri Perkotaan (*Urban Canyon Effect*)

Gedung-gedung tinggi menciptakan ruang yang sempit, memerangkap panas, dan mengurangi aliran udara, yang berkontribusi pada peningkatan suhu.

#### 5. Polusi Udara

Partikel polutan di atmosfer menyerap dan memerangkap radiasi inframerah, memperkuat efek UHI.

#### **2.1.4. Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Penataan Ruang**

Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 2021 merupakan peraturan turunan dari Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang, yang diperbarui oleh Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja. Regulasi ini menjadi landasan penting dalam pengelolaan ruang wilayah Indonesia, baik di darat maupun di laut, untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan, adil, dan efisien. Penataan ruang menjadi instrumen strategis dalam mengatur perencanaan dan pemanfaatan wilayah. Peraturan ini dirancang untuk:

1. Menyelaraskan kepentingan pembangunan dengan pelestarian lingkungan.
2. Memberikan kepastian hukum dalam pemanfaatan ruang.
3. Mendukung investasi dengan tetap menjaga keberlanjutan lingkungan.
4. Memfasilitasi tata ruang yang terintegrasi antara wilayah nasional, provinsi, dan kabupaten/kota.

##### 1) Cakupan dan Ruang Lingkup

Peraturan Pemerintah 21/2021 mengatur tiga komponen utama dalam penataan ruang:

- a. Perencanaan Tata Ruang: Meliputi penyusunan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW), Rencana Detail Tata Ruang (RDTR), dan Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (RZWP3K).
- b. Pemanfaatan Ruang: Mengatur alokasi ruang untuk berbagai sektor, termasuk kawasan strategis nasional, pemukiman, pertanian, dan konservasi.
- c. Pengendalian Pemanfaatan Ruang: Meliputi pengawasan, evaluasi, dan pemberian sanksi terhadap pelanggaran tata ruang.

##### 2) Kewenangan dan Tanggung Jawab

- a. Pemerintah Pusat: Bertanggung jawab atas penyusunan tata ruang wilayah nasional, termasuk kawasan strategis nasional yang melibatkan kepentingan pertahanan, ekonomi, dan lingkungan.

- b. Pemerintah Daerah: Menyusun RTRW provinsi dan kabupaten/kota sesuai dengan arahan nasional.
- c. Masyarakat dan Pelaku Usaha: Berperan dalam memberikan masukan pada tahap perencanaan dan mematuhi ketentuan tata ruang.

### 3) Tantangan

- a. Sinkronisasi Antarwilayah: Membutuhkan koordinasi antara pemerintah pusat dan daerah dalam menyelaraskan rencana tata ruang.
- b. Partisipasi Masyarakat: Melibatkan masyarakat secara aktif memerlukan pendekatan inklusif yang lebih baik.
- c. Pengendalian dan Penegakan: Pelanggaran tata ruang seperti pembangunan ilegal masih menjadi tantangan besar, terutama di daerah padat penduduk.

### 4) Contoh Implementasi

Peraturan Peraturan Nomor 21 Tahun 2021 menekankan prinsip keberlanjutan dalam perencanaan dan pengelolaan tata ruang. Beberapa poin penting yang berkaitan dengan perubahan vegetasi adalah:

- a. Penyediaan Ruang Terbuka Hijau (RTH):
  - o Pemerintah daerah diwajibkan mengalokasikan minimal 30% dari luas wilayah sebagai RTH, terdiri dari 20% RTH publik dan 10% RTH privat.
  - o Penetapan RTH ini bertujuan untuk mempertahankan vegetasi alami dan mendukung fungsi ekologis di tengah pembangunan perkotaan.
- b. Pengendalian Alih Fungsi Lahan:
  - o PP mengatur zonasi dan pengendalian pemanfaatan ruang untuk mencegah alih fungsi lahan hijau menjadi kawasan terbangun yang tidak sesuai rencana tata ruang.
- c. Integrasi Perencanaan Tata Ruang:
  - o Tata ruang kota harus mengakomodasi keberlanjutan vegetasi melalui perencanaan zonasi hijau, jalur hijau, dan kawasan konservasi.

d. Perlindungan Ekosistem Perkotaan:

- Vegetasi di kawasan sempadan sungai, kawasan resapan air, dan kawasan lindung lainnya harus dijaga dan dilindungi dari aktivitas pembangunan yang merusak.

5. Dampak Peraturan Peraturan Nomor 21 Tahun 2021 terhadap Perubahan Vegetasi

a. Pelestarian Vegetasi Alami:

Dengan ketentuan RTH minimal 30%, Peraturan Pemerintah ini bertujuan untuk melestarikan vegetasi alami di tengah pembangunan perkotaan. Vegetasi alami seperti hutan kota dan kawasan lindung dapat tetap eksis meskipun terjadi urbanisasi.

b. Peningkatan Vegetasi Buatan:

Perencanaan tata ruang yang diwajibkan untuk menyediakan RTH publik dan privat mendorong penanaman vegetasi buatan, seperti taman kota, jalur hijau, dan kebun vertikal. Hal ini menjadi solusi dalam menjaga keseimbangan ekosistem di wilayah perkotaan.

c. Mitigasi Degradasi Vegetasi:

Pengendalian alih fungsi lahan yang diatur dalam PP bertujuan untuk meminimalkan degradasi vegetasi akibat konversi lahan hijau menjadi kawasan terbangun.

d. Adaptasi Perubahan Suhu permukaan tanah:

Vegetasi di wilayah perkotaan yang dikelola melalui penataan ruang mendukung mitigasi dampak perubahan suhu permukaan tanah, seperti pengendalian suhu mikro, penyerapan karbon, dan manajemen air.

Peraturan Peraturan Nomor 21 Tahun 2021 memberikan kerangka yang jelas untuk menjaga dan meningkatkan vegetasi di wilayah perkotaan melalui penyediaan RTH, pengendalian alih fungsi lahan, dan perencanaan tata ruang yang berkelanjutan. Namun, implementasi yang efektif memerlukan sinergi antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta untuk mengatasi tantangan urbanisasi dan memastikan keberlanjutan vegetasi di kota-kota Indonesia.

### 2.1.5. Pertumbuhan Ekonomi Wilayah Perkotaan

Pertumbuhan ekonomi wilayah perkotaan memiliki dampak signifikan terhadap vegetasi, baik positif maupun negatif. Urbanisasi, yang sering terjadi akibat pertumbuhan ekonomi, menyebabkan perubahan besar pada penggunaan lahan dan kondisi ekologis suatu wilayah.

#### 1. Dampak Negatif Pertumbuhan Ekonomi terhadap Vegetasi

Secara umum, pembangunan infrastruktur seperti perumahan, jalan, dan kawasan industri membutuhkan lahan, yang sering diperoleh dengan mengkonversi area vegetasi alami. Hal ini menyebabkan berkurangnya tutupan vegetasi, fragmentasi ekosistem, dan hilangnya keanekaragaman hayati. Selain itu, aktivitas ekonomi yang intensif, seperti industri dan transportasi, menghasilkan polusi udara, air, dan tanah yang dapat merusak vegetasi. Peningkatan suhu akibat efek pulau panas perkotaan (*Urban Heat Island*) juga memperburuk kondisi vegetasi di wilayah perkotaan.

#### 2. Dampak Positif dan Potensi Pengelolaan Vegetasi

Pertumbuhan ekonomi juga menciptakan peluang untuk memperbaiki dan mengelola vegetasi. Dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya ruang hijau, banyak kota mulai memasukkan elemen penghijauan dalam perencanaan tata ruang mereka. Taman kota, jalur hijau, dan kawasan hijau perkotaan menjadi prioritas untuk mendukung kualitas hidup masyarakat. Teknologi hijau, seperti atap hijau dan dinding hijau, juga berkontribusi pada upaya menjaga vegetasi di tengah pembangunan.

Keberhasilan menjaga vegetasi di tengah pertumbuhan ekonomi sangat bergantung pada kebijakan tata ruang dan pengelolaan lingkungan.

Pendekatan pembangunan berkelanjutan, seperti regulasi ruang terbuka hijau dan program rehabilitasi lingkungan, dapat membantu menjaga keseimbangan antara pembangunan ekonomi dan pelestarian vegetasi.

Dengan kolaborasi yang baik antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat, pembangunan ekonomi tidak harus selalu mengorbankan

vegetasi, melainkan dapat berjalan berdampingan untuk menciptakan wilayah perkotaan yang berkelanjutan.

### **2.1.6. Pertumbuhan Penduduk Di Wilayah Perkotaan**

Pertumbuhan penduduk di wilayah perkotaan memiliki hubungan erat dengan berbagai aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan. Urbanisasi yang sering menyertai pertumbuhan penduduk memicu peningkatan kebutuhan akan perumahan, infrastruktur, layanan publik, dan sumber daya lainnya. Hal ini dapat memberikan dampak positif, tetapi juga menimbulkan tantangan besar bagi pembangunan perkotaan.

#### **1. Dampak Positif Penduduk Di Wilayah Perkotaan**

Secara positif, pertumbuhan penduduk dapat mendorong peningkatan aktivitas ekonomi. Dengan bertambahnya populasi, permintaan akan barang dan jasa meningkat, menciptakan lapangan pekerjaan serta mendorong inovasi. Kota-kota dengan populasi besar sering kali menjadi pusat ekonomi dan budaya yang dinamis, menarik investasi dan memperkuat daya saing wilayah.

#### **2. Dampak Negatif Penduduk Di Wilayah Perkotaan**

Namun, pertumbuhan penduduk yang tidak diimbangi dengan perencanaan yang baik dapat memicu berbagai masalah. Salah satunya adalah meningkatnya tekanan pada infrastruktur, seperti jalan, transportasi umum, pasokan air bersih, dan pengelolaan limbah. Ketidakseimbangan ini dapat menyebabkan kemacetan, penurunan kualitas layanan, serta munculnya permukiman kumuh. Selain itu, peningkatan jumlah penduduk juga berdampak pada lingkungan, seperti penurunan ruang terbuka hijau, polusi udara, dan penurunan kualitas air. Dari sisi tata ruang, kebutuhan lahan untuk tempat tinggal dan fasilitas umum sering kali menyebabkan konversi lahan vegetasi alami menjadi area terbangun. Hal ini mengancam keberlanjutan lingkungan dan keseimbangan ekosistem di wilayah perkotaan.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan perencanaan kota yang berkelanjutan, seperti pembangunan infrastruktur ramah lingkungan, pemanfaatan teknologi *smart city*, dan pengelolaan ruang terbuka hijau. Dengan pendekatan yang tepat, pertumbuhan penduduk di wilayah perkotaan dapat dimanfaatkan sebagai peluang untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat tanpa mengorbankan kualitas lingkungan.

### **2.1.7. Perkembangan Infrastruktur Wilayah Perkotaan**

Perkembangan infrastruktur di wilayah perkotaan memiliki dampak signifikan terhadap vegetasi, baik positif maupun negatif. Pembangunan infrastruktur, seperti jalan, gedung, dan fasilitas umum, sering kali dilakukan dengan mengonversi lahan vegetasi alami menjadi area terbangun. Hal ini menyebabkan penurunan tutupan vegetasi, fragmentasi habitat, dan hilangnya keanekaragaman hayati di wilayah perkotaan.

#### **1. Dampak Negatif Perkembangan Infrastruktur Wilayah Perkotaan**

Dampak negatif utama adalah berkurangnya ruang terbuka hijau, yang berfungsi penting dalam menyerap karbon, mengurangi suhu, dan meningkatkan kualitas udara. Penghilangan vegetasi juga dapat memicu masalah lingkungan, seperti meningkatnya risiko banjir akibat berkurangnya kemampuan tanah untuk menyerap air hujan. Selain itu, degradasi ekosistem akibat polusi dari pembangunan infrastruktur, seperti emisi kendaraan dan limbah konstruksi, turut memengaruhi vegetasi yang tersisa.

#### **2. Dampak Positif Perkembangan Infrastruktur Wilayah Perkotaan**

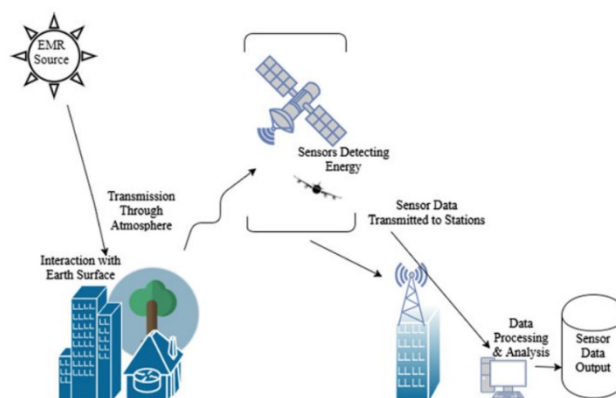
Namun, perkembangan infrastruktur juga dapat menciptakan peluang untuk memperbaiki kondisi vegetasi. Dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya ruang hijau dalam menciptakan kota yang sehat dan berkelanjutan, banyak proyek infrastruktur modern yang mulai mengintegrasikan elemen penghijauan. Contohnya adalah pembangunan taman kota, jalur hijau, dan atap hijau yang membantu memulihkan vegetasi di wilayah yang sebelumnya terbangun.

Keberhasilan mempertahankan vegetasi dalam pembangunan infrastruktur sangat bergantung pada perencanaan tata ruang yang baik dan kebijakan lingkungan yang tegas. Konsep seperti infrastruktur hijau (*green infrastructure*) dapat diimplementasikan untuk mengurangi dampak negatif terhadap vegetasi, sekaligus memastikan keberlanjutan lingkungan. Dengan pendekatan yang tepat, perkembangan infrastruktur dapat berjalan seiring dengan pelestarian vegetasi, menciptakan kota yang modern, produktif, dan tetap ramah lingkungan.

### 2.1.8. Penginderaan Jauh

Menurut Lillesand dkk(2004), penginderaan jauh adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu objek, area, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan alat yang tidak bersentuhan langsung dengan objek yang diamati. Teknik ini menggunakan sensor pada *platform* seperti satelit, pesawat udara, atau drone untuk mendeteksi dan merekam informasi berdasarkan radiasi elektromagnetik.

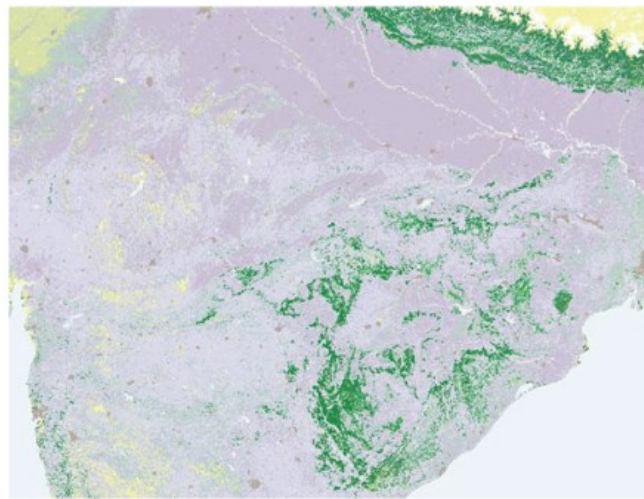
Penginderaan jauh memainkan peran penting dalam pemetaan, pengelolaan sumber daya alam, dan pemantauan perubahan lingkungan secara global. Teknologi ini memungkinkan pengambilan data yang efisien dan akurat untuk berbagai aplikasi di bidang sains, ekonomi, dan sosial.



Gambar 1. Proses Penginderaan Jauh (Sumber: *Big Data for Remote Sensing: Visualization, Analysis and Interpretation* (Nilanjan Dey dan Chintan Bhatt))

## 1. Penginderaan Jauh Klasifikasi Terbimbing

Klasifikasi terbimbing adalah klasifikasi yang dilakukan dengan arahan analis (*supervised*), dimana kriteria pengelompokkan kelas ditetapkan berdasarkan penciri kelas (*class signature*) yang diperoleh melalui pembuatan area contoh (*training area*). Sedangkan, klasifikasi tidak terbimbing merupakan klasifikasi dengan pembentukan kelasnya sebagian besar dikerjakan oleh komputer. Kelas-kelas atau kluster yang terbentuk dalam klasifikasi ini sangat bergantung kepada data itu sendiri, yaitu dikelompokkannya *pixel-pixel* berdasarkan kesamaan atau kemiripan spektralnya (Riswanto 2009).



Gambar 2. Citra Satelit

(Sumber: Big Data for Remote Sensing: Visualization, Analysis and Interpretation (Nilanjan Dey dan Chintan Bhatt))

Metode Klasifikasi Terbimbing diawali dengan pembuatan daerah contoh untuk menentukan penciri kelas. Kegiatan tersebut merupakan suatu kegiatan mengidentifikasi *prototype (cluster)* dari sejumlah *pixel* yang mewakili masing-masing kelas atau kategori yang diinginkan dengan menentukan posisi contoh dilapangan dengan bantuan peta lahan terbangun sebagai referensi untuk setiap kelasnya.

Jumlah kelas yang diambil disesuaikan dengan masing-masing luas penampakan. Secara teoritis, jumlah *pixel* yang diambil untuk mewakili setiap kelas yaitu sebanyak  $N+1$ , dimana  $N$  adalah jumlah *band* yang

digunakan. Hal tersebut dilakukan untuk menghindari matrik ragam-peragam yang singular, dimana *pixel* per kelasnya tidak dapat dihitung. (Lillesand dan Kiefer 2004). Data yang dihasilkan dari kegiatan pengklasifikasian secara terbimbing pada tabel Separabilitas untuk keenam lahan terbangun didominasi oleh nilai 2.000 atau berkisar antara 1.900 sampai 2.000.

Hal tersebut menunjukkan bahwa keenam lahan memiliki kriteria baik (*good*) dan sempurna (*excellent*). Hanya hubungan antara vegetasi rapat dengan vegetasi jarang dan rumput dengan vegetasi jarang yang memiliki nilai baik, selain itu nilai separabilitasnya sempurna, maka dapat dikatakan bahwa hasil klasifikasi masing-masing lahan terbangun dapat dibedakan secara spektral (Lillesand dan Kiefer, 2004)

## **2. Penginderaan Jauh Klasifikasi Tidak Terbimbing**

Klasifikasi tidak terbimbing dalam prosesnya hanya sedikit hal yang ditetapkan atau diatur oleh seorang analis, misalnya jumlah kelas atau klaster yang akan dibuat, teknik yang akan digunakan, jumlah iterasi dan *band* atau kanal yang akan digunakan. Klasifikasi ini disebut juga dengan *clustering*, dimana *clustering* adalah suatu teknik klasifikasi atau identifikasi yang merupakan serangkaian proses untuk mengelompokkan observasi (dalam hal ini piksel) ke dalam suatu kelas atau klaster yang benar dalam suatu set kategori yang disusun Lillesand dan Kiefer (2004)

Menurut Lillesand dan Kiefer (2004), klasifikasi tidak terbimbing dapat saja menjumpai beberapa kelas spektral yang dihasilkan berkaitan dengan lebih dari satu jenis kategori informasi, hal ini berarti bahwa jenis kategori informasi tersebut secara spektral serupa dan tidak dapat dibedakan pada rangkaian data tertentu.

Klasifikasi lahan dengan metode tidak terbimbing akan mendapatkan berbagai klasifikasi lahan yang berasal dari kelas nilai spektral *pixel*.

Simplifikasi kelas ini dilakukan agar tidak terlalu banyak kelas yang dipakai. Simplifikasi kelas ini dilakukan menggunakan diagram dendrogram berdasarkan matrik jarak *euclidean* dari masing-masing kelas. Penggambaran dendrogram ini dapat menggunakan tiga metode, yaitu metode *single linkage*, *complete linkage*, dan *unweighted group average* (Kaufman dan Rousseeuw, 2005).

Metode klasifikasi lahan menggunakan metode klasifikasi terbimbing maupun tidak terbimbing memiliki kekurangan dan kelebihan. Metode klasifikasi terbimbing baik digunakan untuk kawasan yang sudah diketahui dan akses mudah dijangkau untuk keperluan pengenalan lahan terbangun secara terestris. Metode klasifikasi tidak terbimbing baik digunakan untuk pembuatan klasifikasi lahan di kawasan yang belum terlalu dikenali dan akses yang susah untuk dimasuki secara terestris.

### **2.1.9. Pengolahan Sistem Informasi Geografis (SIG)**

Teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) memainkan peran penting dalam pemetaan vegetasi, lahan terbangun, dan suhu permukaan tanah. Dengan integrasi data penginderaan jauh, SIG memungkinkan analisis spasial yang akurat dan efisien.

#### **1. Pemetaan Vegetasi**

Indeks Vegetasi Ternormalisasi Normal *Forest Canopy Density* digunakan untuk menilai kerapatan dan kesehatan vegetasi. Data satelit seperti Landsat 8 menyediakan informasi spektral yang dapat diolah untuk menghasilkan peta FCD, membantu dalam pemantauan perubahan tutupan lahan dan kesehatan ekosistem.

#### **2. Pemetaan Lahan Terbangun**

SIG memungkinkan klasifikasi tutupan lahan melalui analisis citra satelit. Dengan teknik klasifikasi terawasi, area seperti permukiman, industri, perairan, hutan, dan pertanian dapat diidentifikasi dan dipetakan. Tutorial ArcGIS menunjukkan langkah-langkah pembuatan peta tutupan lahan

menggunakan data Landsat dan Sentinel, yang bermanfaat untuk perencanaan tata ruang dan manajemen sumber daya.

### 3. Pemetaan suhu permukaan tanah.

Sensor inframerah termal pada satelit, seperti *Thermal InfraRed* Sensor (TIRS) pada Landsat 8, digunakan untuk mengekstraksi suhu permukaan melalui analisis *Land Surface Temperature* (LST). Data ini penting untuk mengidentifikasi fenomena *Urban Heat Island* (UHI) dan memahami hubungan antara kerapatan bangunan, vegetasi, dan kenyamanan termal di perkotaan.

Integrasi ketiga komponen ini dalam SIG memungkinkan analisis komprehensif terhadap interaksi antara vegetasi, lahan terbangun, dan suhu permukaan. Informasi ini krusial untuk perencanaan kota berkelanjutan, mitigasi perubahan suhu permukaan tanah, dan konservasi lingkungan.

#### 2.1.10. *Forest Canopy Density* (FCD)

*Forest Canopy Density* atau FCD adalah estimasi persentase kerapatan tajuk hutan per piksel (0–100%) dari citra satelit. Model klasik FCD (Rikimaru dkk.2002) menggabungkan empat indeks biofisik: (1) AVI/*Advanced Vegetation Index* yang merefleksikan banyaknya vegetasi; (2) BI/*Bare Soil Index* yang meningkat saat tanah terbuka dominan; (3) SI/*Shadow Index* yang meningkat ketika tajuk rapat menimbulkan bayangan; dan (4) TI/*Thermal Index* yang cenderung menurun pada vegetasi rapat dan meningkat pada tanah terbuka/permukaan panas. Keempat indeks dihitung dari kanal optik/termal (Landsat), kemudian disintesis (umumnya lewat transformasi/PCA) menjadi nilai FCD dalam persen. Model ini populer karena relatif tahan bias atmosfer dan latar belakang, serta efektif memantau perubahan tutupan tajuk dari waktu ke waktu.

Nilai FCD membantu: (a) menilai degradasi/fragmentasi, (b) memantau rehabilitasi/penanaman kembali, dan (c) memandu prioritas pengelolaan (misalnya lokasi celah kanopi untuk penanaman). Keunggulan pendekatan FCD yang menggabungkan AVI, BI, SI, TI—dibanding klasifikasi berbasis

*training area* murni—ialah efisien secara waktu/biaya di kawasan luas dan konsisten antar waktu.

Ambang batas kelas dapat disesuaikan konteks ekologi/*set data* (musim, sensor). Karenanya, studi biasanya memvalidasi peta FCD dengan titik lapangan/plot (*ground truth*) dan melaporkan akurasi keseluruhan + Kappa sebelum analisis lanjut.

### 1. *Advanced Vegetation Index* (AVI)

*Advanced Vegetation Index* (AVI) merupakan salah satu vegetasi indeks yang digunakan untuk menilai kesehatan dan produktivitas vegetasi dengan memanfaatkan pita spektral *near-infrared* (NIR) dan *red*. AVI dirancang untuk membedakan tutupan hutan dari area rerumputan atau lahan terbuka. Rumus umum AVI untuk landsat 8 adalah:

$$AVI = \sqrt{(NIR + 1) \times (65,565 - Red) \times (NIR - Red)} \dots \dots \dots (1)$$

### 2. *Bare Soil Index* (BI)

*Bare Soil Index* (BI) adalah indeks spektral yang dirancang untuk memperkuat deteksi permukaan tanah terbuka dalam citra penginderaan jauh, dengan mengurangi pengaruh vegetasi, air, dan tutupan lainnya.

Formula umum BI terdiri dari kombinasi pita SWIR, *Red*, NIR, dan *Blue*:

$$BI = \frac{(SWIR+Red)-(NIR+Blue)}{(SWIR+Red)+(NIR+Blue)} \dots \dots \dots (2)$$

Nilai BI berkisar antara -1 hingga 1, dimana nilai tinggi menunjukkan kondisi tanah paling terbuka. BI telah banyak digunakan dalam studi hutan dan lahan terbuka. Penggunaannya sering digabung bersama FCD untuk membedakan area vegetasi dari tanah atau sisa tanaman kering (Husna, dkk. 2022).

### 3. *Shadow Index* (SI)

*Shadow Index* (SI) adalah indeks spektral yang dirancang untuk mendeteksi atau mengeliminasi bayangan dalam citra penginderaan jauh (Hayoung, dkk. 2020). Salah satu varian populer adalah *Canopy Shadow Index*, yang menggunakan pita merah dan hijau:

$$SI = \sqrt[3]{(65,565 - Blue) \times (65,565 - Green) \times (65,565 - Red)} \dots \dots \dots (3)$$

Indeks ini efektif membedakan pola bayangan pada kanopi hutan, membantu memisahkan area dengan kanopi usia atau struktur berbeda dari rerumputan atau lahan terbuka.

Nilai SI yang mentah belum dapat langsung digunakan karena rentangnya dapat sangat berbeda antar citra dan kondisi, apalagi jika tajuk sangat rapat. Untuk itu, digunakan transformasi linier untuk menormalkan rentang nilai SI menjadi skala persentase (0–100%), yang disebut *Scaled Shadow Index* (SSI). Nilai SSI = 0 % berarti bayangan minimal; SSI = 100 % berarti bayangan maksimal—umumnya dikaitkan dengan kerapatan tajuk tertinggi.

#### 4. *Thermal Index* (TI)

*Thermal Index* (TI) dirancang untuk merefleksikan fenomena suhu permukaan yang berbeda antara area berhutan dan non-hutan. Di hutan, suhu cenderung lebih rendah karena dua faktor utama, efek peneduh tajuk (*canopy shielding*) – tajuk pohon menyerap dan menghalangi radiasi matahari langsung. Evaporasi daun – proses pendinginan alami melalui transpirasi. Karenanya, TI menjadi indikator penting untuk membedakan antara bayangan tajuk dan area tanah gelap atau terbakar (Rikimaru, dkk. 2002).

$$TI = \frac{K_2}{\ln \left( \frac{K_1}{L_\lambda} + 1 \right)} \dots \dots \dots (4)$$

#### 5. *Vegetation Density* (VD)

*Vegetation Density* (VD) merupakan salah satu komponen utama dalam model *Forest Canopy Density* (FCD). VD dihasilkan melalui integrasi beberapa indeks vegetasi—seperti *Advanced Vegetation Index* (AVI) dan *Bare Soil Index* (BI)—menggunakan teknik seperti *principal component analysis*, kemudiandistandarkan sehingga menghasilkan persentase VD per piksel (Miguel, dkk.2021).

## 6. *Scaled Shadow Index (SSI)*

*Scaled Shadow Index (SSI)* adalah versi ter-skala dari *Shadow Index (SI)*. *SI* sendiri merupakan indeks yang mengukur intensitas bayangan tajuk berdasarkan citra satelit melalui komponen spektral di pita tampak (biasanya merah, hijau, dan biru). *SSI* kemudian dikembangkan agar memiliki unit skala 0–100, menjadikannya mudah diintegrasikan dengan *Vegetation Density (VD)* dalam model *FCD* (Rikimaru. dkk., 2002).

$$FCD = \sqrt{(VD \times SSI + 1) - 1} \dots \dots \dots (5)$$

Tabel 1 Klasifikasi *FCD*

No.	Klasifikasi <i>FCD</i>	Nilai (%)
1	Lahan Tidak Bervegetasi	0
2	Vegetasi Rendah	10-50
3	Vegetasi Sedang	50-70
4	Vegetasi Tinggi	70-100

Sumber: (Nugraha dan Citra, 2021)

## 7. *Proportion of Vegetation (PV)*

Secara konseptual, *Proportion of Vegetation (PV)* merepresentasikan proporsi tutupan vegetasi pada suatu piksel, dengan nilai 0–1. Sementara itu, *Forest Canopy Density (FCD)* menggambarkan tingkat kerapatan tajuk vegetasi dalam bentuk persentase (0–100%) yang dihasilkan dari integrasi beberapa indeks spektral (*AVI*, *BI*, *SI*, dan *TI*). Karena *FCD* secara langsung mencerminkan dominasi kanopi vegetasi, maka *PV* dapat diturunkan langsung dari *FCD* melalui normalisasi nilai, tanpa harus menggunakan *NDVI* sebagai perantara. Rumus yang digunakan untuk menghitung *PV* berbasis *FCD* adalah:

$$PV = \frac{FCD}{100} \dots \dots \dots (6)$$

dimana:

- *PV* adalah *Proportion of Vegetation* (0–1)
- *FCD* adalah *Forest Canopy Density* dalam persen (0–100%)

Normalisasi PV:

$$PV = \frac{PV - PV_{min}}{PV_{max} - PV_{min}} \dots \dots \dots (7)$$

#### 8. Emisivitas Permukaan

Setelah *Proportion of Vegetation* (PV) diperoleh dari *Forest Canopy Density* (FCD) melalui normalisasi nilai, tahap selanjutnya adalah penentuan emisivitas permukaan. Emisivitas dihitung dengan pendekatan campuran, karena satu piksel citra satelit umumnya tersusun atas kombinasi vegetasi dan permukaan non-vegetasi. Oleh sebab itu, nilai emisivitas permukaan merupakan hasil pembobotan antara fraksi vegetasi dan fraksi non-vegetasi dalam satu piksel. Emisivitas permukaan dihitung menggunakan persamaan:

$$\varepsilon = \varepsilon_v \times P_v + \varepsilon_s \times (1 - P_v) \dots \dots \dots (8)$$

dimana  $\varepsilon$  adalah emisivitas permukaan,  $\varepsilon_v$  merupakan emisivitas vegetasi (0,98–0,99),  $\varepsilon_s$  adalah emisivitas permukaan non-vegetasi (0,95–0,97), dan PV adalah proporsi vegetasi hasil FCD. Pada kawasan perkotaan, nilai emisivitas vegetasi yang lebih tinggi mencerminkan kemampuan kanopi dalam menstabilkan radiasi panas, sedangkan area dengan PV rendah cenderung didominasi material terbangun yang berkontribusi terhadap peningkatan suhu permukaan.

#### 2.1.11. *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI)

*Normalized Difference Built-up Index* (NDBI) adalah indeks yang digunakan dalam penginderaan jauh untuk mengidentifikasi dan memantau area lahan terbangun di wilayah perkotaan. NDBI dikembangkan untuk memanfaatkan data spektral dari citra satelit guna membedakan area lahan terbangun dari vegetasi, air, dan tanah kosong. Indeks ini sangat penting untuk analisis tata ruang, urbanisasi, dan pengelolaan wilayah perkotaan (Xu, H. 2008). Formula NDBI:

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} \dots \dots \dots (9)$$

Dimana:

1. SWIR (*Shortwave InfraRed*): Reflektansi pada panjang gelombang inframerah gelombang pendek, yang lebih tinggi pada area terbangun.
2. NIR (*Near InfraRed*): Reflektansi pada panjang gelombang inframerah dekat, yang lebih tinggi pada vegetasi.

*Normalized Difference Built-up Index* (NDBI) adalah alat yang sangat penting untuk mengidentifikasi dan memantau area terbangun, khususnya di wilayah perkotaan. Dengan memanfaatkan perbedaan reflektansi spektral, NDBI memberikan wawasan tentang perubahan lahan, pola urbanisasi, dan dampaknya terhadap lingkungan. Meskipun memiliki keterbatasan, NDBI terus menjadi alat yang sangat relevan dalam pengelolaan tata ruang, mitigasi bencana, dan studi lingkungan perkotaan. Dengan berkembangnya teknologi satelit dan perangkat lunak analisis data, potensi NDBI untuk aplikasi lebih lanjut akan terus meningkat.

Tabel 2. Klasifikasi NDBI

No	Kelas	Nilai	Keterangan
1	Kelas 1	-1 - 0	Non Bangunan
2	Kelas 2	0 – 0,1	Kerapatan Bangunan Rendah
4	Kelas 3	0,1 – 0,2	Kerapatan Bangunan Sedang
5	Kelas 4	0,2 – 0,3	Kerapatan Bangunan Tinggi

Sumber: (Handayani, 2017)

### 2.1.12. *Land Surface Temperature (LST)*

*Land Surface Temperature (LST)* adalah suhu permukaan tanah yang diukur atau diestimasi berdasarkan energi yang dipancarkan oleh tanah, vegetasi, air, atau material lainnya di permukaan. Sebagai salah satu parameter penting dalam studi lingkungan, LST digunakan untuk memahami dinamika suhu permukaan yang dipengaruhi oleh proses atmosfer, interaksi permukaan-bumi, dan aktivitas manusia (Voogt, J. A., dkk., 2003).

LST adalah suhu aktual permukaan bumi yang dapat berbeda dari suhu udara di atasnya. Misalnya, pada siang hari, suhu permukaan aspal atau beton dapat jauh lebih tinggi dibandingkan suhu udara karena sifat fisiknya yang menyerap dan memancarkan radiasi lebih intensif. LST sangat dipengaruhi oleh:

1. Komposisi Permukaan: Vegetasi, air, dan tanah memiliki sifat termal yang berbeda.
2. Kondisi Atmosfer: Awan, kelembaban, dan radiasi matahari memengaruhi pola distribusi suhu.
3. Urbanisasi: Area terbangun cenderung memiliki suhu permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan area vegetasi, yang memunculkan fenomena seperti *Urban Heat Island* (UHI).

Formula untuk menghitung *Land Surface Temperature* (LST) menggunakan data satelit seperti Landsat 8 biasanya melibatkan beberapa langkah, termasuk koreksi radiasi termal dan konversi ke suhu permukaan. Berikut adalah penjelasan langkah-langkah dan formula yang umum digunakan:

1) Konversi *Digital Number* (DN) ke Radiansi Spektral ( $L_\lambda$ )

Data termal yang diperoleh dari satelit seperti Landsat dan Landsat 8 biasanya berupa nilai *Digital Number* (DN). Untuk mengubahnya menjadi radiansi spektral, digunakan formula:

$$L_\lambda = ML \times Q_{cal} + AL \dots\dots\dots (10)$$

- $L_\lambda$  : Radiansi spektral (dalam  $W/m^2/sr/\mu m$ )
- $Q_{cal}$  : Nilai *pixel* atau DN
- $ML$  : Faktor pengali skala radiansi (biasanya diberikan dalam metadata satelit)
- $AL$  : Faktor penambahan radiansi (*offset*), juga tersedia dalam Metadata

2) Konversi Radiansi ke *Brightness temperature* (BT)

Radiansi spektral kemudian dikonversi menjadi suhu kecerahan (*brightness temperature*) menggunakan hukum radiasi *Planck*:

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana:

- $T_B$  : *Brightness temperature* (dalam Kelvin)
- $L_\lambda$  : Radiansi spektral (dari langkah 1)
- $K_1$  : Konstanta kalibrasi *Planck* pertama (dalam  $W/m^2/sr/\mu m$ ), Tersedia dalam metadata
- $K_2$  : Konstanta kalibrasi *Planck* kedua (dalam Kelvin), tersedia dalam metadata

### 3) Koreksi untuk Emisivitas Permukaan

*Brightness temperature* tidak memperhitungkan emisivitas permukaan ( $\epsilon$ ), yaitu kemampuan permukaan untuk memancarkan energi radiasi. Koreksi emisivitas dilakukan dengan formula:

$$LST = \frac{T_B}{1 + \left(\frac{\lambda \cdot T_B}{\rho}\right) \ln(\epsilon)} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana:

- $LST$ : *Land Surface Temperature* (dalam Kelvin)
- $T_B$ : *Brightness temperature* (dalam Kelvin, dari langkah 2)
- $\lambda$ : Panjang gelombang tengah dari pita termal (dalam meter)
- $\rho$ : Konstanta (dalam meter.K), dihitung sebagai  $\frac{h \cdot c}{\sigma}$ , dengan:
  - $h$ : Konstanta *Planck* ( $6,626 \times 10^{-34}$  Js)
  - $c$ : Kecepatan cahaya ( $2,998 \times 10^8$  m/s)
  - $\sigma$ : Konstanta *Boltzmann* ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K)
- $\epsilon$ : Emisivitas permukaan (bernilai antara 0 dan 1), yang dapat ditentukan berdasarkan jenis permukaan.

### 4) Konversi ke Celsius (Opsional)

Jika diperlukan, suhu permukaan dalam Kelvin dapat dikonversi menjadi Celsius menggunakan:

$$LST_{\circ C} = LST_k - 273,15 \dots\dots\dots (13)$$

- Emisivitas ( $\epsilon$ ): Nilainya bergantung pada jenis permukaan. Misalnya, vegetasi biasanya memiliki emisivitas sekitar 0,98, sedangkan tanah kering atau beton sekitar 0,92.
- Koreksi Atmosfer: Dalam beberapa kasus, koreksi atmosfer diperlukan untuk mengurangi pengaruh radiasi yang tersebar oleh atmosfer.

Tabel 3. Klasifikasi LST

No.	Kelas	Nilai	Keterangan
1	Kelas 1	20° - 24° C	Rendah
2	Kelas 2	25° - 30° C	Normal
3	Kelas 3	31° - 35° C	Tinggi

Sumber: climate-data.org dan (Rosleine dan Irfan, 2021)

### 2.1.13. Citra Satelit Landsat 8

Landsat 8 adalah bagian dari program Landsat yang telah berlangsung sejak 1972. Satelit ini membawa dua instrumen utama: *Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Berikut adalah penjelasan lengkap tentang citra Landsat 8 dalam 500 kata:

#### 1. Spesifikasi Teknis

##### a. Resolusi Spasial:

- OLI: 30 meter (*multispektral*), 15 meter (*pankromatik*).
- TIRS: 100 meter (*thermal*, di-*resample* ke 30 meter).

##### b. Resolusi Temporal: 16 hari (*revisit time*).

##### c. Cakupan Area: 185 km x 185 km per *scene*.

##### d. Jumlah *Band*: 11 *band* spektral (9 dari OLI dan 2 dari TIRS).

#### 2. *Band* Spektral Landsat 8

Landsat 8 memiliki 11 band spektral yang mencakup berbagai panjang gelombang:

- Band 1 - Coastal/Aerosol* (0.43–0.45  $\mu\text{m}$ ): Untuk studi pantai dan *aerosol*.

- b. *Band 2 - Blue* (0.45–0.51  $\mu\text{m}$ ): Untuk penetrasi air dan vegetasi sehat.
- c. *Band 3 - Green* (0.53–0.59  $\mu\text{m}$ ): Untuk identifikasi vegetasi.
- d. *Band 4 - Red* (0.64–0.67  $\mu\text{m}$ ): Untuk membedakan jenis vegetasi.
- e. *Band 5 - Near Infrared (NIR)* (0.85–0.88  $\mu\text{m}$ ): Untuk analisis kesehatan vegetasi.
- f. *Band 6 - Shortwave Infrared 1 (SWIR 1)* (1.57–1.65  $\mu\text{m}$ ): Untuk kelembaban tanah dan vegetasi.
- g. *Band 7 - Shortwave Infrared 2 (SWIR 2)* (2.11–2.29  $\mu\text{m}$ ): Untuk batuan dan mineral.
- h. *Band 8 - Panchromatic* (0.50–0.68  $\mu\text{m}$ ): Resolusi tinggi (15 meter) untuk detail spasial.
- i. *Band 9 - Cirrus* (1.36–1.38  $\mu\text{m}$ ): Untuk deteksi awan *cirrus*.
- j. *Band 10 - Thermal Infrared 1 (TIRS 1)* (10.60–11.19  $\mu\text{m}$ ): Untuk suhu permukaan.
- k. *Band 11 - Thermal Infrared 2 (TIRS 2)* (11.50–12.51  $\mu\text{m}$ ): Untuk suhu permukaan.

### 3. Keunggulan Landsat 8

- a. Gratis dan Terbuka: Data Landsat 8 dapat diunduh gratis dari USGS *Earth Explorer* atau *platform* lainnya.
- b. *Multispektral*: Memiliki 11 *band* spektral yang cocok untuk berbagai aplikasi.
- c. Resolusi Temporal yang Baik: Dengan *revisit time* 16 hari, Landsat 8 ideal untuk pemantauan perubahan lahan.
- d. Kualitas Radiometrik yang Tinggi: 12-bit data memungkinkan deteksi lebih detail dibandingkan Landsat sebelumnya (8-bit).

### 4. Aplikasi Citra Landsat 8

Citra Landsat 8 digunakan dalam berbagai bidang, antara lain:

- a. Pertanian:
  - Memantau kesehatan tanaman menggunakan indeks seperti FCD (*Normalized Difference Vegetation Index*) dan FCD (*Forest Canopy Density*).
  - Mengestimasi hasil panen.

b. Kehutanan:

- Deteksi deforestasi dan degradasi hutan.
- Pemantauan kebakaran hutan.

c. Perubahan Lahan:

- Memantau urbanisasi dan alih fungsi lahan.
- Analisis tutupan lahan.

d. Sumber Daya Air:

- Pemetaan badan air dan kualitas air.
- Deteksi perubahan garis pantai.

e. Geologi:

- Identifikasi batuan dan mineral.
- Pemantauan aktivitas vulkanik.

f. Bencana Alam:

- Pemetaan area terdampak banjir, gempa bumi, atau tsunami.
- Pemantauan pemulihan pasca-bencana.

#### **2.1.14. Google Earth Engine**

*Google Earth Engine* (GEE) merupakan platform komputasi berbasis awan yang dikembangkan oleh *Google* untuk pengolahan dan analisis data penginderaan jauh skala besar. GEE menyediakan arsip citra satelit multitemporal yang sangat lengkap, termasuk seri Landsat (Landsat 5, 7, dan 8), dengan cakupan waktu panjang dan resolusi spasial yang konsisten. Dalam penelitian perubahan vegetasi perkotaan dan suhu permukaan tanah, GEE banyak digunakan karena kemampuannya dalam mengolah citra satelit secara efisien, terstandar, dan dapat direproduksi tanpa memerlukan kapasitas penyimpanan lokal yang besar. Menurut Gorelick dkk. (2017), GEE dirancang untuk mendukung analisis lingkungan berskala regional hingga global melalui integrasi data, algoritma, dan komputasi paralel dalam satu *platform* terpadu.

Dalam konteks pengunduhan citra Landsat tanpa awan sepanjang tahun, GEE memiliki keunggulan utama pada mekanisme *cloud masking* dan

*compositing*. Setiap citra Landsat yang tersedia di GEE telah dilengkapi dengan *Quality Assessment (QA band)* yang memungkinkan identifikasi piksel awan, bayangan awan, dan awan tipis secara otomatis. Dengan memanfaatkan band QA tersebut, peneliti dapat menyaring citra dengan tingkat tutupan awan tertentu (misalnya <10% atau <20%) serta menghilangkan piksel awan pada tingkat piksel. Pendekatan ini jauh lebih efektif dibandingkan pemilihan citra tunggal, terutama di wilayah tropis seperti Bandar Lampung yang memiliki frekuensi awan tinggi. USGS (2020) menjelaskan bahwa penggunaan QA band Landsat sangat direkomendasikan untuk menghasilkan data permukaan yang bersih dan konsisten secara temporal.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa GEE sangat efektif untuk membangun komposit citra tahunan bebas awan (*annual cloud-free composite*). Hansen dkk. (2013) dan Zhu dan Woodcock (2014) menggunakan pendekatan komposit median dan *pixel-based compositing* untuk menghasilkan citra bebas awan dalam analisis perubahan tutupan lahan jangka panjang. Metode serupa banyak diterapkan dalam studi urban dan vegetasi karena mampu merepresentasikan kondisi rata-rata tahunan secara lebih stabil.

Dalam penelitian tesis ini, GEE menjadi alat utama untuk memperoleh citra Landsat bebas awan secara konsisten pada tahun 2014, 2019, dan 2024. Melalui pemfilteran awan, komposit tahunan, dan ekspor data terstandar, GEE memastikan bahwa analisis *Forest Canopy Density (FCD)*, *NDBI*, dan *Land Surface Temperature (LST)* dilakukan berdasarkan data yang homogen secara spasial dan temporal. Dengan demikian, GEE tidak hanya berperan sebagai alat pengunduhan data, tetapi juga sebagai fondasi metodologis yang meningkatkan akurasi, efisiensi, dan keterulangan penelitian perubahan lingkungan perkotaan.

### 2.1.15. Uji Akurasi Matriks Kesalahan (*Confusion Matrix*)

Uji akurasi dilakukan untuk memperoleh informasi tingkat ketelitian hasil klasifikasi. Metode yang digunakan adalah menggunakan matriks kesalahan (*confusion matrix*) sehingga diperoleh nilai akurasi *overall* dan *Kappa*. *Overall accuracy* merupakan persentase jumlah *pixel* yang terklasifikasi secara benar (terdapat di diagonal matriks) dibagi dengan jumlah total piksel.

Menurut *US. Geological Survey* (2019), syarat dapat diterimanya hasil klasifikasi adalah akurasi *Kappa* yang lebih dari 85%. Perhitungan akurasi *Kappa* dapat dilakukan setelah menyusun matriks kesalahan. Tabel 4. merupakan contoh penyusunan matriks tersebut.

Tabel 4. Pengelompokan Data Matriks Kesalahan (*Confusion Matrix*)

<i>Data Referensi</i>	<i>Data Diklasifikasikan ke Kelas</i>			<i>Total</i>
	<i>Tinggi</i>	<i>Sedang</i>	<i>Rendah</i>	
<i>Tinggi</i>	$X_{ii}$			$X_{bi}$
<i>Sedang</i>				
<i>Rendah</i>			$X_{ii}$	
<i>Total</i>	$X_{ki}$			$N$

Sumber : (Husni, 2024)

Perhitungan akurasi *overall* dan *Kappa* disajikan dalam persamaan 7 dan 8

$$Kappa\ accuracy = \frac{N \sum_t^n X_{ii} - \sum_t^n X_{bi} X_{ki}}{N^2 \sum_t^n X_{bi} X_{ki}} \times 100\% \dots \dots \dots (14)$$

$$Overall\ accuracy = \frac{\sum_t^n X_{ii}}{N} \times 100\% \dots \dots \dots (15)$$

Keterangan :

- N = banyaknya piksel
- $X_{ii}$  = nilai diagonal matriks pada kolom ke-i dan baris ke-i
- $X_{bi}$  = jumlah *pixel* pada baris ke-i
- $X_{ki}$  = jumlah *pixel* pada kolom ke-i

### 2.1.16. Uji Regresi Linier Berganda pada Kerapatan Vegetasi dan Lahan Terbangun terhadap *Land Surface Temperature* (LST)

Regresi linear berganda merupakan model regresi yang melibatkan lebih dari satu variabel independen. Analisis regresi linear berganda dilakukan untuk mengetahui arah dan seberapa besar pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen (Ghozali, 2018). Model dasar dari regresi linier berganda dapat ditulis:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_n \cdot X_n + \varepsilon \dots \dots (16)$$

dimana:

- Y = variabel dependen yang ingin diprediksi,  
 $X_1, X_2, \dots, X_n$  = variabel independen/prediktor yang diduga berpengaruh terhadap Y,  
 $\beta_0$  = konstanta (*intercept*),  
 $\beta_1 \dots \beta_n$  = koefisien regresi untuk tiap variabel bebas (menunjukkan besarnya pengaruh relatif tiap variabel),  
 $\varepsilon$  = *error term* (galat), yaitu bagian variabilitas Y yang tidak dapat dijelaskan oleh X.

Analisis dengan regresi linier berganda memungkinkan peneliti untuk: Mengetahui berapa besar dan seberapa arah (positif/negatif) pengaruh setiap variabel independen terhadap variabel dependen, sambil mengontrol variabel lainnya. Memperkirakan/prediksi nilai Y apabila nilai-nilai variabel bebas diketahui. Menguji hipotesis: misalnya, apakah variabel  $X_1$  dan  $X_2$  secara signifikan memengaruhi Y. (Ghozali, 2018)

Namun, agar hasil analisis valid, regresi linier berganda juga mengharuskan asumsi-asumsi klasik: seperti data berskala interval/rasio, linearitas hubungan antar variabel, tidak ada multikolinearitas (variabel bebas tidak terlalu saling berkorelasi), residual berdistribusi normal, homoskedastisitas, dan tidak ada autokorelasi.

### **2.1.17. Perubahan Tutupan Lahan**

Perubahan tutupan lahan adalah transformasi atau modifikasi pada penutup fisik permukaan bumi akibat aktivitas manusia atau proses alami. Tutupan lahan merujuk pada elemen fisik seperti vegetasi, air, salju, atau permukaan buatan seperti bangunan dan jalan. Perubahan ini sering terjadi akibat dinamika pembangunan, pertumbuhan populasi, dan perubahan suhu permukaan tanah, yang memengaruhi ekosistem secara lokal maupun global.

#### **1. Penyebab Perubahan Tutupan Lahan**

- **Urbanisasi**  
Perluasan kawasan perkotaan untuk memenuhi kebutuhan tempat tinggal, infrastruktur, dan industri sering kali menggantikan lahan alami seperti hutan dan lahan pertanian.
- **Deforestasi**  
Penebangan hutan untuk pertanian, peternakan, atau produksi kayu mengurangi tutupan vegetasi alami.
- **Pertanian**  
Konversi lahan hutan menjadi lahan pertanian untuk memenuhi kebutuhan pangan dapat menyebabkan hilangnya keanekaragaman hayati.
- **Perubahan Suhu permukaan tanah**  
Fenomena seperti pemanasan global dapat menyebabkan pencairan es dan mengubah pola tutupan lahan di daerah kutub atau kering.

#### **2. Dampak Perubahan Tutupan Lahan**

- **Kerusakan Lingkungan**  
Perubahan tutupan lahan dapat menyebabkan degradasi tanah, hilangnya habitat satwa liar, dan penurunan kualitas udara dan air.
- **Perubahan Hidrologi**  
Urbanisasi yang tidak terkontrol mengubah pola aliran air, meningkatkan risiko banjir, dan mengurangi infiltrasi air ke dalam tanah.

- Pemanasan Global  
Hilangnya tutupan vegetasi alami, terutama hutan, mengurangi kemampuan bumi menyerap karbon dioksida, sehingga mempercepat pemanasan global.
- Penurunan Keanekaragaman Hayati  
Konversi lahan alami menjadi lahan buatan mengancam kelangsungan hidup flora dan fauna.

### **3. Metode Analisis**

- Penginderaan Jauh dan SIG  
Teknologi ini memanfaatkan citra satelit untuk memetakan dan memantau perubahan tutupan lahan secara berkala, seperti perubahan hutan menjadi lahan perkotaan.
- Model Spasial  
Digunakan untuk memprediksi perubahan tutupan lahan di masa depan berdasarkan tren historis dan skenario kebijakan.

### **4. Strategi Mitigasi**

- Perencanaan Tata Ruang  
Kebijakan tata ruang yang berkelanjutan dapat mengelola pembangunan tanpa merusak ekosistem.
- Reboisasi  
Mengembalikan tutupan vegetasi melalui penanaman kembali pohon.
- Konservasi Sumber Daya Alam  
Melindungi kawasan alami untuk menjaga keseimbangan ekosistem.

Perubahan tutupan lahan adalah fenomena kompleks yang memerlukan perhatian global. Memantau dan mengelola perubahan ini penting untuk melindungi ekosistem, mengurangi dampak perubahan suhu permukaan tanah, dan memastikan keberlanjutan pembangunan. Kolaborasi antara pemerintah, masyarakat, dan akademisi diperlukan untuk mencapai solusi yang efektif.

### 2.1.18. Mitigasi Kenaikan Suhu Permukaan Tanah dengan *Urban Greening* dengan Metode *Cellular Automata*

Kenaikan suhu permukaan tanah, terutama di kawasan perkotaan, seringkali disebabkan oleh fenomena *Urban Heat Island* (UHI), dimana area perkotaan memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah sekitarnya. Fenomena ini terjadi akibat dominasi permukaan yang tidak dapat menyerap air, seperti aspal dan beton, yang menyerap lebih banyak panas matahari dan memancarkannya kembali ke lingkungan. Selain itu, berkurangnya tutupan vegetasi dan meningkatnya aktivitas antropogenik, seperti penggunaan kendaraan bermotor dan pendingin ruangan, turut berkontribusi pada peningkatan suhu permukaan, strategi Mitigasi UHI:

#### 1. Penambahan Ruang Terbuka Hijau (RTH)

Meningkatkan jumlah vegetasi di perkotaan dapat menurunkan suhu permukaan melalui proses evapotranspirasi dan memberikan efek bayangan yang mengurangi penyerapan panas oleh permukaan tanah. Penelitian di Kabupaten Gresik menunjukkan bahwa tutupan lahan berupa vegetasi dan badan air dapat menurunkan nilai suhu permukaan, sedangkan tutupan lahan terbangun dan terbuka berpengaruh positif terhadap peningkatan suhu permukaan (Setiawan, 2024).

#### 2. Penggunaan Material dengan *Albedo* Tinggi

Menggunakan bahan bangunan yang memiliki kemampuan memantulkan sinar matahari lebih tinggi dapat mengurangi penyerapan panas.

Contohnya adalah penerapan atap reflektif atau penggunaan cat berwarna terang pada permukaan bangunan dan jalan.

#### 3. Penerapan Atap dan Dinding Hijau

Mengintegrasikan tanaman pada atap dan dinding bangunan tidak hanya menambah estetika, tetapi juga membantu dalam penyerapan panas dan meningkatkan insulasi termal bangunan.

#### 4. Pengelolaan Tata Ruang yang Berkelanjutan

Perencanaan tata ruang yang mempertimbangkan keseimbangan antara area terbangun dan ruang hijau serta pengaturan sirkulasi udara yang baik dapat membantu mengurangi efek UHI.

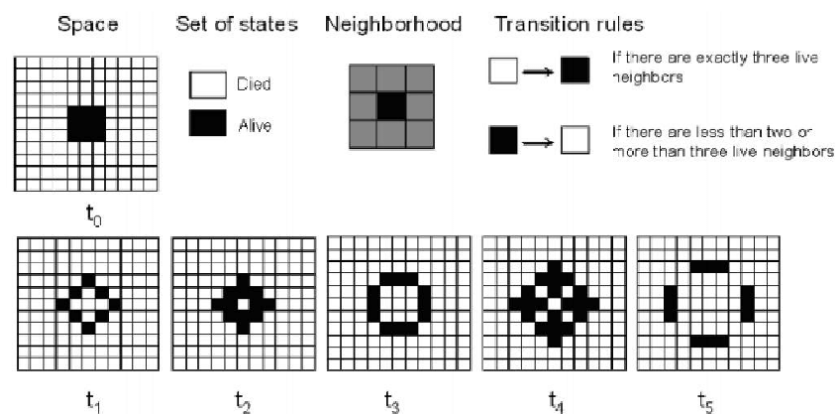
#### 5. Pengurangan Emisi Panas Antropogenik

Mengurangi penggunaan energi pada bangunan, meningkatkan efisiensi energi, dan mendorong penggunaan transportasi umum dapat menurunkan emisi panas yang dihasilkan oleh aktivitas manusia.

Implementasi strategi-strategi di atas memerlukan kerjasama antara pemerintah, masyarakat, dan pemangku kepentingan lainnya untuk menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih sejuk dan berkelanjutan.

#### 2.1.19. Metode *Cellular Automata*

Metode *Cellular Automata* (CA) merupakan pendekatan spasial berbasis *grid* yang banyak digunakan dalam penelitian *urban greening*. CA bekerja dengan membagi permukaan wilayah menjadi sel-sel kecil (*cells*), yang masing-masing memiliki kondisi tertentu—misalnya: ruang hijau, area terbangun, badan air, atau ruang terbuka. Setiap sel diperbarui secara iteratif menggunakan *transition rules* berdasarkan kondisi sel tetangga. Metode ini sangat efektif untuk memodelkan pertumbuhan kota, perubahan tutupan lahan, dan skenario perluasan ruang hijau.



Gambar 3. Konsep *Cellular Automata Urban greening Simulation*

Sumber : Proceedings of 16th IAHR-APD Congress and 3rd Symposium of IAHR-ISHS (Li dan Arias (2008))

## 1. Konsep Dasar *Cellular Automata*: *Grid*, *State*, *Rules*, *Transition*

### a. *Grid* (Sel Peta)

Dalam *Cellular Automata* (CA), wilayah studi dibagi menjadi kisi-kisi (*grid*) yang terdiri dari sel-sel berukuran tetap, misalnya  $10 \times 10$  m,  $30 \times 30$  m, atau  $100 \times 100$  m. Setiap sel pada *grid* ini berfungsi sebagai unit analisis terkecil yang merepresentasikan kondisi permukaan lahan. Semakin kecil ukuran *grid*, semakin detail hasil simulasi yang dapat diperoleh, namun membutuhkan kapasitas komputasi yang lebih besar. *Grid* inilah yang menjadi dasar bagi CA untuk membaca pola ruang dan mensimulasikan perubahan dari waktu ke waktu.

### b. *State* (Keadaan Sel)

Setiap sel dalam CA memiliki *state* atau kondisi tertentu yang mewakili kelas penutup lahan. Dalam konteks *Urban greening* biasanya digunakan 3–5 *state*, misalnya:

- Vegetasi lebat (nilai 3)
- Vegetasi ringan (nilai 2)
- Lahan kosong (nilai 1)
- Terbangun (nilai 0)

*State* ini dapat disesuaikan tergantung kebutuhan analisis, dan merupakan informasi awal yang sangat penting karena CA menggunakannya sebagai dasar dalam menentukan perubahan sel pada iterasi berikutnya. Semakin jelas definisi *state*, semakin baik hasil simulasi yang dihasilkan.

### c. *Neighborhood* (Lingkungan Sekitar)

Perubahan sebuah sel dipengaruhi oleh sel-sel di sekitarnya, yang disebut *neighborhood*. Dalam CA, terdapat dua tipe *neighborhood* yang paling umum digunakan:

- *Moore*  $3 \times 3$  : melibatkan 8 sel tetangga di sekeliling sel pusat.
- *Von Neumann* : hanya melibatkan 4 tetangga (atas, bawah, kiri, kanan).

Konsep *neighborhood* ini penting karena pola interaksi ruang, seperti penyebaran vegetasi atau pertumbuhan area terbangun, sangat

dipengaruhi oleh kondisi area di sekitarnya. Pemilihan jenis *neighborhood* biasanya disesuaikan dengan karakter fenomena yang sedang dimodelkan.

d. *Transition Rules* (Aturan Transisi)

Aturan transisi adalah inti dari CA, yaitu mekanisme yang menentukan bagaimana dan kapan sebuah sel berubah *state*. Aturan ini dapat bersifat deterministik atau probabilistik. Contoh aturan sederhana: "Jika sebuah sel lahan kosong memiliki  $\geq 4$  tetangga vegetasi, maka peluang menjadi vegetasi  $>70\%$ ." Aturan transisi juga dapat digabungkan dengan variabel lain seperti kemiringan lahan (*slope*), jarak ke jalan, jarak ke sungai, maupun tingkat kesesuaian lahan. Dengan demikian, CA mampu menggabungkan faktor spasial dan ekologis untuk menghasilkan simulasi yang lebih realistis. Aturan ini dieksekusi secara iteratif, sehingga perubahan pada tahun  $t$  dihitung berdasarkan kondisi tahun  $t-1$ , memungkinkan model menggambarkan dinamika jangka panjang secara bertahap.

2. Konstruksi Model *Urban greening CA*

a. Tahap 1 Pengumpulan dan Persiapan Data

Tahap pertama dalam membangun model *Urban greening* berbasis *Cellular Automata* (CA) adalah mengumpulkan dan menyiapkan seluruh data spasial yang diperlukan. Tahap ini sangat krusial karena kualitas data awal akan sangat menentukan akurasi hasil simulasi. Dalam literatur Internasional dan nasional—termasuk studi pada disepakati bahwa model CA hanya dapat bekerja dengan baik apabila data dasarnya lengkap, konsisten, dan telah melalui proses pra-pengolahan yang benar.

b. Citra Satelit sebagai Data Utama

Citra satelit merupakan sumber data utama untuk menghasilkan peta tutupan lahan (LULC). Beberapa jenis citra yang umum digunakan antara lain: Landsat 8/9 – resolusi 30 m, cocok untuk skala kota–kabupaten. Sentinel-2 – resolusi 10 m, lebih detail untuk analisis perubahan vegetasi. *Planet Scope* – resolusi 3–5 m, digunakan jika

diperlukan ketelitian tinggi. Citra-citra ini kemudian melalui proses koreksi atmosfer, pemotongan area (*clipping*), serta komposit citra untuk menghilangkan awan. Pada tahap ini, *pre-processing* harus dilakukan secara teliti karena setiap kesalahan kecil (misalnya awan, bayangan, atau *noise*) dapat memengaruhi hasil klasifikasi vegetasi dan memicu bias dalam simulasi CA.

c. Data DEM/SRTM untuk Menghitung Slope

*Digital Elevation Model* (DEM) seperti SRTM digunakan untuk menghitung kemiringan lahan (*slope*). Dalam model *Urban Greening*, kemiringan penting karena: Area dengan *slope* curam lebih cocok dijadikan ruang hijau daripada kawasan terbangun. *Slope* berfungsi sebagai variabel pembatas dalam aturan transisi CA. Data DEM biasanya diekstrak menjadi peta *slope* dengan satuan derajat atau persen. Pengolahan harus memastikan tidak ada kesalahan topografi seperti *sink* atau *spike* yang mengganggu analisis spasial.

d. Peta *Land Use/Land Cover* (LULC)

Peta LULC adalah komponen dasar dari model CA. Kategori penutup lahan yang umum digunakan meliputi: vegetasi, permukiman, pertanian. *Waterbody*, *industry* LULC digunakan sebagai *state* awal dalam CA, sehingga akurasi klasifikasi harus tinggi agar simulasi tidak menyimpang dari kondisi nyata. Peta LULC biasanya dibuat menggunakan metode klasifikasi seperti *Random Forest*, SVM, atau *Classification Tree*, kemudian divalidasi menggunakan titik referensi lapangan atau citra resolusi tinggi.

e. Data Infrastruktur

Model CA membutuhkan data infrastruktur untuk menentukan tingkat kesesuaian lokasi dan pengaruh kedekatan ruang. Data yang dibutuhkan meliputi: jaringan jalan, bangunan *public green infrastructure* (taman, jalur hijau, RTH lain). Data ini akan digunakan dalam analisis *distance decay*, yaitu bagaimana jarak terhadap infrastruktur memengaruhi kemungkinan perubahan *state* sel. Misalnya, sel yang dekat jalan mungkin lebih cepat berubah menjadi

terbangun, sementara sel yang dekat taman memiliki peluang lebih tinggi menjadi vegetasi.

f. Peta Zona Terlarang (*Constraints*)

Beberapa area tidak boleh mengalami perubahan, sehingga perlu dipetakan sebagai *constraint*. Contohnya: kawasan industri berat, area bandara, fasilitas vital, permukiman padat. Peta ini memberikan batasan agar CA tidak melakukan prediksi yang tidak realistis atau bertentangan dengan peraturan tata ruang. *Constraint* biasanya disajikan dalam bentuk peta *biner* (0 = terlarang, 1 = diperbolehkan).

g. Pentingnya Akurasi Data Berdasarkan Studi

Menurut Li, dkk (2020), tahap pengumpulan dan pemrosesan data awal merupakan faktor paling penting dalam konstruksi model CA. Metode ini menekankan bahwa akurasi klasifikasi LULC menentukan keandalan seluruh simulasi, karena model CA secara langsung menggunakan kelas LULC sebagai *state* dasar. Di tingkat nasional, (Putra 2021) juga menegaskan bahwa akurasi klasifikasi minimal harus di atas 85% sebelum dipakai dalam pemodelan CA. Akurasi kurang dari ambang tersebut dapat menyebabkan penyimpangan simulasi, terutama dalam prediksi pertumbuhan vegetasi dan permukiman.

Tahap ini merupakan inti dari perencanaan *Urban greening* karena menentukan area mana yang secara ekologis, fisik, dan spasial paling layak untuk dikembangkan menjadi ruang hijau. *Land Suitability Analysis* (LSA) berfungsi mengukur tingkat kesesuaian setiap sel dalam *grid* berdasarkan sejumlah variabel lingkungan dan *urban*. Semakin baik kualitas analisis kesesuaian, semakin akurat model CA dalam memprediksi pola pertumbuhan vegetasi di masa depan. Dalam banyak studi Internasional dan nasional, LSA merupakan fondasi sebelum membangun aturan transisi CA.

a. *Slope* (Kemiringan Lahan)

*Slope* merupakan variabel fisik utama dalam penentuan lokasi penghijauan. Lahan yang lebih landai umumnya lebih mudah untuk

dijadikan ruang hijau karena aksesnya lebih baik dan risiko erosi lebih rendah. Sebaliknya, lahan dengan kemiringan tinggi biasanya tidak stabil untuk pembangunan, sehingga dapat menjadi area prioritas untuk konservasi vegetasi. Menurut Ahmed et al. (2019), *slope* sering dinilai menggunakan *fuzzy* membership dengan rentang 0–1, dimana nilai 1 menunjukkan lahan sangat sesuai untuk ruang hijau. Pendekatan *fuzzy* ini membantu menggambarkan perubahan kesesuaian secara bertahap, bukan kategoris.

b. Jarak ke Jalan Besar

Variabel ini digunakan karena jalan besar sering menjadi koridor penting dalam sistem tata hijau, seperti jalur hijau (*green belt*) atau *green corridor*. Semakin dekat sebuah sel ke jalan besar, semakin tinggi prioritasnya untuk dikembangkan sebagai ruang hijau yang dapat mengurangi polusi, mengatur suhu mikro, dan memperindah kota. Normalisasi jarak dilakukan agar setiap sel memiliki nilai kesesuaian antara 0 hingga 1, sehingga dapat digunakan dalam perhitungan multi-kriteria.

c. Jarak ke Sungai (*Riparian Zone*)

Sungai dan badan air merupakan area yang sangat strategis untuk penghijauan. Zona riparian berfungsi sebagai *buffer vegetation* untuk menjaga kualitas air, mencegah erosi tebing sungai, dan meningkatkan keanekaragaman hayati. Studi (Rachman, dkk 2020) menyatakan bahwa vegetasi di sepanjang sungai memiliki dampak ekologis lebih besar dibanding vegetasi pada area terisolasi. Oleh karena itu, sel yang semakin dekat dengan sungai akan memiliki nilai kesesuaian yang lebih tinggi dalam model.

d. Kepadatan Bangunan (*Building Density*)

Kepadatan bangunan menggambarkan tingkat keterisian ruang di suatu area. Pada wilayah dengan densitas tinggi, ruang untuk penghijauan sangat terbatas sehingga peluang sel berubah menjadi vegetasi rendah. Sebaliknya, wilayah dengan densitas rendah memiliki banyak ruang kosong, sehingga peluang untuk penghijauan lebih besar. Variabel ini

biasanya diambil dari raster densitas bangunan yang dihitung melalui analisis *kernel density* atau hasil ekstraksi dari citra resolusi tinggi.

e. *Urban Pressure Index* (UPI)

*Urban Pressure Index* menggambarkan tingkat tekanan urbanisasi di suatu wilayah, misalnya akibat ekspansi permukiman, pertumbuhan industri, atau kebijakan ruang yang mendorong pembangunan. Area dengan tekanan *urban* tinggi umumnya lebih sulit dijadikan ruang hijau karena kompetisi dengan fungsi terbangun sangat besar. Sebaliknya, area dengan tekanan rendah menjadi kandidat yang lebih realistis untuk program *urban greening*. Variabel ini sering dibangun berdasarkan kombinasi faktor seperti kepadatan penduduk, jarak ke pusat kota, dan intensitas pembangunan.

f. Normalisasi Semua Variabel (0–1)

Setiap variabel dalam LSA harus dinormalisasi menjadi rentang 0–1 agar dapat digabungkan dalam analisis multi-kriteria. Angka 0 berarti "tidak sesuai", sedangkan angka 1 berarti "sangat sesuai". Metode normalisasi yang umum digunakan adalah *fuzzy logic*, karena dapat menangkap perubahan gradual dari kondisi lapangan tanpa memaksakan batas kategori yang kaku.

$$\text{Suitability} = e^{-\alpha(x-x_{\min})} \dots\dots(17)$$

Contoh Rumus Normalisasi *Fuzzy* (Eksponensial)

Salah satu bentuk fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk variabel kesesuaian adalah fungsi eksponensial: Rumus ini menunjukkan bahwa nilai kesesuaian akan menurun secara eksponensial ketika suatu variabel menjauh dari kondisi idealnya. Parameter  $\alpha$  digunakan untuk mengatur sensitivitas perubahan nilai. Semakin besar nilai  $\alpha$ , semakin tajam perubahan kesesuaian terhadap jarak atau nilai variabel.

Hasil Tahap Ini: Peta Kesesuaian Lahan (*Land Suitability Map*) *Output* dari seluruh rangkaian analisis adalah peta kesesuaian lahan dalam format raster, dimana setiap sel memiliki nilai kesesuaian antara 0–1. Peta ini nantinya menjadi dasar utama dalam menentukan probabilitas transisi sel pada model *Cellular Automata*, terutama pada kategori

vegetasi dan ruang hijau baru. Peta kesesuaian yang baik akan meningkatkan kemampuan model dalam memprediksi pola dan arah pertumbuhan vegetasi secara realistis.

Tabel 5. Penggunaan Data serta Penggunaan Aplikasi

No	Data	Jenis Data	Sumber	Penggunaan Aplikasi
1	Adminitrasi Kota Bandar Lampung	vektor	Badan Informasi Geospasial (BIG) ( <a href="https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/">https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/</a> )	<i>ArcGIS</i> 10.8
2	Jalan	vektor		
3	Tata Guna Lahan	vektor		
4	Kemiringan Tanah	vektor		
5	Peta RTRW Kota Bandar Lampung	vektor	Badan Informasi Geospasial (BIG) <a href="https://onemap.big.go.id/peta">https://onemap.big.go.id/peta</a>	
6	Vegetasi	raster	Data Landsat 8/9 Band 2,3,4,5,6,7,8 ( <a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a> )	
7	Lahan Terbangun	raster	Data Landsat 8/9 Band 5 dan 6 ( <a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a> )	
8	Suhu Permukaan Tanah	raster	Data Landsat 8/9 Band 2,3,4,5,6,7,8, 10 dan 11 ( <a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a> )	
9	<i>Fishnet Point</i>	vektor	<i>Input</i> data atribut Vegetasi, Lahan Terbangun, Suhu Permukaan Tanah.	
10	<i>Urban greening Skema</i>	raster	<i>Input</i> data spasial Vegetasi, Lahan Terbangun, Suhu Permukaan Tanah, Jalan Tata Guna Lahan, Kemiringan Tanah, Rencana Pola Ruang	<i>Pyhton</i> 2.7

### 2.1.20. Skema *Urban Greening* Skenario Laju Ekspansi

Skema urban greening dapat dibedakan berdasarkan laju implementasi dan intensitas intervensinya menjadi lambat, moderat, dan cepat. Perbedaan ini mencerminkan tingkat prioritas kebijakan, ketersediaan ruang, serta kapasitas pendanaan dan kelembagaan dalam meningkatkan ruang terbuka hijau. Pendekatan bertahap (lambat) umumnya diterapkan pada kota dengan keterbatasan lahan dan anggaran, sementara pendekatan moderat menyeimbangkan kebutuhan pembangunan dan ekologi, dan pendekatan cepat digunakan pada kondisi yang menuntut intervensi intensif untuk menekan dampak lingkungan seperti Urban Heat Island (UHI). Literatur

menunjukkan bahwa peningkatan vegetasi secara signifikan berkontribusi terhadap penurunan suhu permukaan dan peningkatan kualitas lingkungan perkotaan (Gill dkk., 2007; Bowler dkk., 2010; Norton dkk., 2015).

- Skema lambat (*slow urban greening*)

Pendekatan dilakukan secara bertahap dengan intensitas rendah, biasanya melalui penambahan vegetasi terbatas seperti taman lingkungan dan penghijauan kecil. Skema ini mempertimbangkan keterbatasan lahan dan anggaran, namun dampaknya terhadap penurunan suhu relatif kecil dan memerlukan waktu lebih lama.

- Skema moderat (*moderate urban greening*)

Pendekatan yang mengombinasikan pengembangan vegetasi dengan tetap mempertahankan aktivitas pembangunan, seperti penerapan koridor hijau, urban forestry, dan penghijauan vertikal. Skema ini dinilai paling realistis karena mampu memberikan manfaat ekologis sekaligus tetap mendukung pertumbuhan kota.

- Skema cepat (*rapid urban greening*)

Pendekatan dengan intensitas tinggi melalui penambahan vegetasi secara masif dan terencana, seperti konversi lahan terbuka menjadi ruang hijau dalam skala besar. Skema ini efektif menurunkan suhu dan memperbaiki kualitas lingkungan dalam waktu relatif singkat, namun membutuhkan dukungan kebijakan kuat, biaya besar, dan ketersediaan lahan yang memadai.

## 2.2. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu memberikan landasan penting dalam memahami pengaruh teknologi khususnya penginderaan jauh terhadap integrasi teknologi, hal ini mampu meningkatkan motivasi mahasiswa melalui pembelajaran yang lebih interaktif dan dinamis. Hasil penelitian-penelitian ini menyoroti peran penting teknologi penginderaan jauh dalam

meningkatkan efektivitas penelitian, serta menjadi dasar untuk mengembangkan strategi inovatif yang relevan dengan kebutuhan pengolahan data Penginderaan Jauh dan SIG.

Tabel 6. Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Variabel	Metode	Hasil
1	(Lalu Muhamad Jaelani, 2021)	Analisis Perubahan Distribusi <i>Urban Heat Island</i> (UHI) di Kota Surabaya Menggunakan Citra Satelit Sentinel 2 Multitemporal	Menganalisis perubahan distribusi <i>Urban Heat Island</i> (UHI) di Kota Surabaya menggunakan Citra Sentinel 2 dan Landsat 7-8 pada tahun 2002, 2014, dan 2019.	Uji Korelasi LST Citra dengan Suhu Lapangan	1. Ambang Batas 2. <i>Hot Spot Analysis</i> 3. <i>Single-Channel Algorithm</i>	Dapat dijadikan referensi bagi masyarakat, pemerintah maupun pihak perencana pembangunan kota dalam mengatasi fenomena UHI serta merancang mitigasinya.
2	(Iswari Nur Hidayat., dkk, 2018)	Kombinasi Indeks Citra untuk Analisis Lahan Terbangun dan Vegetasi Perkotaan	Merumuskan kombinasi saluran terbaik dalam ekstraksi lahan terbangun dan area vegetasi serta menghitung kepadatan bangunan dan kerapatan vegetasi berbasis indeks.		<i>Normalized Difference Built-up Index</i> (NDBI)	Indeks yang dibangun dengan PC2 dan NIR 1 serta PC2 dan NIR 2 mempunyai akurasi tinggi yaitu 94,43% untuk bangunan dan kombinasi indeks dari NIR1_Red mempunyai akurasi optimal yaitu 99,51% dan NIR2_Red mempunyai akurasi 92,87 untuk ekstraksi data vegetasi.
3	(Septianto Aldiansyah, 2023)	Analisis Spasio-Temporal Fenomena <i>Urban Heat Island</i> dan Hubungannya Terhadap Aspek Fisik Di Kota Makassar (1993-2021)	Menganalisis fenomena UHI akibat perubahan tutupan lahan serta melihat korelasinya terhadap aspek fisik wilayah di Kota Makassar	Uji korelasi determinasi dilakukan antara LST, FCD, MNDWI, NDBI.	1. <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI), 2. <i>Normalized Difference Builtup Index</i> (NDBI), 3. <i>Modified Normalized Difference Water Index</i> (MNDWI)	Identifikasi <i>Land Surface Temperature</i> Di Kota Makassar (1993-2021)
4	(Sri Sutarni Arifin., dkk. 2021)	Pengaruh Vegetasi terhadap Pulau Panas Perkotaan Menggunakan Citra Sentinel 2 OLI/TIRS di Daerah Tropis Iklim Perkotaan	Menganalisis pengaruh tutupan vegetasi dan suhu permukaan tanah di wilayah penelitian yang nantinya akan digunakan sebagai acuan dalam merekomendasikan kebutuhan ruang terbuka hijau di wilayah perkotaan yang beriklim tropis.		1. <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI), 2. <i>Normalized Difference Built-up Index</i> (NDBI), 3. pengukuran suhu permukaan lahan menggunakan <i>band</i> termal 10 dan 11.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah dengan indeks vegetasi tinggi memiliki suhu yang rendah, sedangkan daerah dengan indeks vegetasi rendah memiliki suhu yang tinggi.

Lanjutan Tabel 6. Penelitian Terdahulu								
5	(Abhinav Mehta, dkk., 2021)	<i>Vegetation Change Analysis using Normalized Difference Vegetation Index and Land Surface Temperature in Greater Gir Landscape</i>	Memahami efek klimatologis vegetasi pada skala regional.	efek pada skala	Uji determinasi dilakukan antara NDVI dan LST	korelasi antara	1. <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI), 2. <i>Land Surface Temperature</i> (LST)	Terdapat korelasi negatif yang lemah ( $r=-0,232$ ) yang di temukan antara NDVI dan LST.
6	(Ante Seletkovic dkk., 2023)	<i>The Urban Heat Island Analysis for the City of Zagreb in the Period 2013–2022 Utilizing Sentinel 2 Satellite Imagery</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Untuk menyajikan pemantauan jangka panjang manifestasi SUHI di Kota Zagreb pada periode musim panas;</li> <li>Untuk mengeksplorasi hubungan antara LST dan NDVI yang dihitung, dan nilai NDBI untuk periode yang sama;</li> <li>Untuk menggambarkan perilaku manifestasi SUHI di kota Zagreb dalam kaitannya dengan indeks yang dihitung dan mendeteksi kemungkinan pengaruh lainnya.</li> </ol>		Uji determinasi dilakukan antara LST, NDVI dan NDBI	korelasi	1. <i>Normalized Difference Built-up Index</i> (NDBI), 2. <i>Land Surface Temperature</i> (LST)	<ol style="list-style-type: none"> <li>Hasilnya menunjukkan kesamaan suhu rata-rata selama periode pengamatan. Namun, pengaruh variabel eksternal terhadap ekspresi spasial UHI juga teramati.</li> <li>Wilayah yang tertutup hutan dan bagian hijau lainnya dari infrastruktur kota menunjukkan suhu terendah, sementara lokasi terbangun merupakan titik terpanas di kota.</li> <li>Hasil penelitian ini menegaskan pentingnya infrastruktur hijau kota untuk kota yang tangguh dan menyajikan hasil pengamatan UHI jangka panjang di sebuah kota di Eropa Tenggara.</li> </ol>
7	(Yarong Yang dkk., 2022)	<i>Spatial And Temporal Variation Of Heat Islands In The Main Urban Area Of Zhengzhou Under The Two-Way Influence Of Urbanization And Urban Forestry</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>menganalisis karakteristik evolusi spasial dan waktu efek kota panas dan lapisan vegetasi di Kota Zhengzhou.</li> <li>menganalisis secara kuantitatif hubungan antara data pencahayaan malam, lapisan vegetasi, dan efek kota panas;</li> </ol>		Uji korelasi antara FVC, data pencahayaan malam, dan efek pulau panas kota di area penelitian	antara	1. <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI), 2. <i>Fractional Vegetation Cover</i> (FVC)	<ol style="list-style-type: none"> <li>menunjukkan bahwa, selama 15 tahun terakhir, area suhu tinggi di daerah kota Zhengzhou telah secara lambat menyebar dari pusatnya ke area sekeliling.</li> </ol>

3. mengevaluasi efek bilateral urbanisasi dan hutan kota untuk efek kota panas di Kota Zhengzhou selama 15 tahun (dari 2006 hingga 2020).
2. Dalam periode yang sama, isu kota panas secara keseluruhan telah memburuk dan membaik pulih: luasnya bertambah sebesar 138,72 km<sup>2</sup> antara 2006–2014 dan berkurang sebesar 135,66 km<sup>2</sup> antara 2014–2020.
3. Notabelnya, pengembangan penutupan vegetasi terjadi secara konsisten dengan peningkatan isu kota panas.

**Lanjutan Tabel 6. Penelitian Terdahulu**

8	(Qian Zhou dkk., 2022)	<i>Impact of Urbanization and Climate on Vegetation Coverage in the Beijing–Tianjin–Hebei Region of China</i>	Menganalisis kontribusi urbanisasi dan iklim terhadap tutupan vegetasi dan untuk memberikan perspektif ilmiah untuk pembangunan perkotaan yang berkelanjutan.	Uji regresi linier <i>Fractional Vegetation Cover (FVC)</i> dengan <i>Nighttime Light Data</i> dan <i>Meteorological Data</i>	1. <i>Normalisasi Model Z-Score</i> 2. Parsial regresi turunan, dan hasilnya tidak dapat dievaluasi dengan ketidakpastian.	FVC wilayah BTH bervariasi antara 0,20 hingga 0,26, dengan heterogenitas spasial yang signifikan. FVC meningkat di kota-kota kecil seperti Cangzhou dan Pegunungan Taihang, sementara itu
9	(Shahin Alizadeh Zenouzi dkk., 2022)	<i>Analysis of Changes in Vegetation Index during the Rapid Urban Spatial Development Period (1990–2020) in Tehran Metropolis, Iran</i>	menilai spasial perubahan temporal tutupan vegetasi di Teheran antara tahun 1990 dan 2020, mengidentifikasi faktor yang berkontribusi terhadap perubahan tersebut.	Uji <i>Geographically Weighted Regression (GWR)</i> mempelajari ketergantungan spasial tanggungan variabel (perubahan luas tutupan vegetasi antara tahun 1990 dan 2020) secara independen variabel (lahan terbangun, kepadatan penduduk, dan luas unit industri).	Penginderaan Jauh klasifikasi terbimbing, <i>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)</i> , <i>Geographically Weighted Regression (GWR)</i>	Menunjukkan bahwa tutupan vegetasi di menurun di kota-kota besar dengan populasi lebih dari 1 juta, seperti Beijing dan Zhangjiakou Bashang. Kawasan Beijing–Tianjin–Hebei (BTH) mengalami urbanisasi yang pesat, dengan luas permukaan buatan yang meningkat sebesar 18,42%. Dari kawasan inti perkotaan hingga pinggiran kota, intensitas urbanisasinya menurun, namun demikian tingkat

urbanisasi meningkat. Urbanisasi dan curah hujan memiliki pengaruh terbesar terhadap perubahan FVC. Teheran semakin berkurang selama 30 tahun terakhir (1990–2020). Namun, tren hilangnya vegetasi berbeda-beda distrik kota. Karena peningkatan pesat kepadatan penduduk, perubahan penggunaan lahan dan pertumbuhan lahan konstruksi, beberapa kabupaten mengalami peningkatan penurunan tutupan vegetasi yang lebih besar dibandingkan daerah lain. Secara umum, rata-rata RTH per kapita di kota-kota Iran berkisar antara 7–12 meter persegi (m<sup>2</sup>)

**Lanjutan tabel 6**

10 (Lei Zhang dkk., 2022)	<i>Analysis of desertification combating needs based on potential vegetation FCD—A case in the Hotan Oasis</i>	<p>1. mengukur status penggurunan saat ini di oasis Hotan melalui perhitungan PFCD menggunakan model <i>MaxEnt</i></p> <p>2. menganalisis permintaan kebutuhan pengendalian penggurunan di berbagai zona oasis Hotan dengan membandingkan karakteristik sebaran spasial PFCD dan AFCFD.</p>	<p>Uji Model <i>MaxEnt</i> digunakan untuk memperoleh tingkat kontribusi setiap variabel, dan variabel tingkat kontribusi kurang dari 1 dihilangkan. Selanjutnya, analisis korelasi <i>Pearson</i> terhadap data setelah pemodelan dilakukan oleh perangkat lunak ArcMap. Variabel tingkat kontribusi besar yang memiliki koefisien korelasi <math> r  &gt; 0,8</math> dipilih untuk analisis model berikutnya. (Yang et al., 2013). Setelah proses penyaringan di atas faktor lingkungan akhirnya dipilih untuk prediksi PFCD</p>	<p><i>MaxEnt</i> (Model entropi maksimum) digunakan untuk mensimulasikan distribusi spesies berdasarkan data keberadaan (keberadaan spesies) dan data faktor lingkungan (Phillips et al., 2006). Data titik distribusi yang diurutkan dan data variabel bioklimatik yang disaring diimpor ke <i>MaxEnt</i> 3.4.1 dan variabel bioklimatik dievaluasi dengan uji Jackknife (Merow et al., 2013).</p>	<p>Hasil menunjukkan bahwa PFCD dengan tutupan vegetasi tinggi, sedang, dan rendah terutama tersebar di barat daya dan tenggara Oasis Hotan, di bagian tengah dan hilir Sungai Kalakash dan Sungai Yulong Kashi, dan daerah gurun atau Gobi di luar oasis, masing-masing. Distribusi PFCD dengan tutupan vegetasi tinggi, sedang, dan rendah masing-masing mencakup 6,80%, 7,26%, dan 9,17% dari oasis Hotan. Perbandingan antara AFCFD dan PFCD</p>
---------------------------	--	---	--	---	--

							menunjukkan bahwa 18,04% (AFCD < PFCD, sekitar 3.900 km <sup>2</sup> ) dari wilayah studi masih mengalami pengurangan, yang terutama tersebar di ekoton gurun-oasis di Hotan.
<b>Lanjutan tabel 6</b>							
<b>11</b>	(Risna Sari dkk., 2022)	Analisis <i>Index Vegetation</i> Wilayah Terdampak Kebakaran Hutan Riau Menggunakan Citra Landsat-8 dan Sentinel-2	Mengetahui tingkat vegetasi pasca kebakaran wilayah rawan kebakaran kabupaten Riau.	tingkat pascapada di	Uji Algoritma <i>Random Forest</i> dan variabel penentu yang digunakan adalah FCD, NBR, EVI, dan SAVI.	Metode <i>Clustering</i> pada Citra Sentinel 2	Hasil akurasi data testing maksimal yang diperoleh dengan menggunakan Landsat-8 adalah sebesar 99%, sedangkan dengan menggunakan Sentinel2, diperoleh akurasi maksimal sebesar 94%
<b>12</b>	(Shaanxi Dijian land comprehensive development Co., 2024)	<i>Analysis of the Impact of Land Use Planning on Urban Heat Island Effect</i>	1. Makalah ini merangkum strategi utama pengoptimalan perencanaan penggunaan lahan untuk efek pulau panas, termasuk meningkatkan cakupan ruang hijau,  2. memperbaiki <i>Albedo</i> permukaan, 3. mengoptimalkan morfologi dan struktur perkotaan. 4. menganalisis mekanisme dan kondisi penerapannya, 5. mengevaluasi efek dan faktor-faktor yang memengaruhinya, dan membahas penerapan dan keberlanjutannya.			1. analisis statistik, inversi 2. penginderaan jauh, 3. simulasi numerik,	Strategi pengoptimalan perencanaan penggunaan lahan untuk efek pulau panas perlu memilih dan menggabungkan strategi yang tepat sesuai dengan situasi dan tujuan kota yang spesifik, untuk mencapai efek terbaik.  Pada saat yang sama, strategi optimalisasi perencanaan penggunaan lahan untuk mengatasi dampak pulau panas perlu dikoordinasikan dan diintegrasikan dengan tujuan dan langkah-langkah perencanaan dan pengelolaan perkotaan lainnya, sehingga dapat menghindari konflik dan dampak negatif, serta meningkatkan penerapan dan keberlanjutan optimalisasi perencanaan penggunaan lahan untuk mengatasi dampak pulau panas.

Lanjutan tabel 6						
13	(David Andrés Calvache dkk., 2019)	<i>Analysis of vegetation cover area as an urban environmental quality factor</i>	Mengidentifikasi perubahan tutupan vegetasi di kota San Juan de Pasto antara pinggiran dan komune 1, yang memiliki tutupan vegetasi terendah di kota tersebut.		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)</i></li> <li>2. <i>Soil-Adjusted vegetation index (SAVI)</i></li> </ol>	<p>Hasil ini menunjukkan bahwa kualitas lingkungan di komune 1 merupakan inti penting dari tindakan. Lebih jauh, para pemimpin kota dan penduduk komune harus memprioritaskan promosi strategi untuk meningkatkan kualitas lingkungan. Menurut laporan tentang kualitas lingkungan perkotaan, kota-kota seperti Soledad, Barranquilla, Ibague, Cali, dan Pasto juga menunjukkan kualitas lingkungan yang rendah.</p>
14	(Tao Wang dkk., 2023)	<i>Analyzing Spatial-Temporal Change of Vegetation Ecological Quality and Its Influencing Factors in Anhui Province, Eastern China Using Multiscale Geographically Weighted Regression</i>	mengidentifikasi karakteristik variasi spasial dan temporal <i>Ecological Quality Index</i> dari Vegetasi Terrestrial (EQI) di Provinsi Anhui. selama musim tanam dari tahun 2000 hingga 2020 menggunakan analisis tren, analisis korelasi parsial, dan analisis autokorelasi spasial bivariat	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Geographically Weighted Regression (GWR)</i></li> <li>2. <i>Regression (GWR)</i></li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Ecological Quality Index</i> dari Vegetasi Terrestrial (EQI)</li> <li>2. <i>Geographically Weighted</i></li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hasil menunjukkan tren peningkatan EQI selama musim tanam di Provinsi Anhui dari tahun 2000 hingga 2020. Area yang meningkat secara signifikan mencapai 43,49%, sedangkan area yang menurun secara signifikan mencapai 3,60%.</li> <li>2. EQI memiliki korelasi positif dengan curah hujan dan korelasi negatif dengan suhu rata-rata (<math>p &lt; 0,1</math>), yang menunjukkan sensitivitas yang lebih tinggi terhadap curah hujan daripada suhu.</li> <li>3. Selain itu, EQI cenderung meningkat pada awalnya dan kemudian menurun seiring dengan peningkatan</li> </ol>

				elevasi dan kemiringan.	
<b>Lanjutan tabel 6</b>					
15	(Abba Aliyu Kasim dkk., 2022)	<i>Detecting Vegetation Loss and Its Ecological Impacts Using Geospatial Techniques In Potiskum Local Government Area, Yobe State, Nigeria</i>	meneliti perubahan penggunaan lahan/tutupan lahan selama tiga dekade (1990 hingga 2019) di Potiskum menggunakan teknik geospasial.	1. <i>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Change Detection Analysis</i>	Hasil penelitian ini menunjukkan perubahan signifikan pada tutupan vegetasi di seluruh area studi antara tahun 1990 dan 2019. Secara khusus, tahun 2010 dan 2019 menyaksikan pengurangan signifikan pada tutupan vegetasi sebesar 38% dibandingkan dengan tahun 1990 dan 2000 yang menunjukkan penurunan sebesar 14,5%. Dari tahun 2000 hingga 2010, ditemukan penurunan 8% pada tutupan vegetasi. Secara kumulatif, hilangnya vegetasi di wilayah studi ditemukan sebesar 60,5% antara tahun 1990 dan 2019

### 2.3. Hipotesis

Hipotesis yang dapat ditarik untuk penelitian tentang Analisis Faktor Perubahan Vegetasi Perkotaan dan Respon terhadap Suhu Permukaan Tanah di Bandar Lampung:

#### 1. Hipotesis Umum

Hipotesis utama dalam penelitian ini dirumuskan untuk menguji pengaruh faktor-faktor perkotaan terhadap perubahan kerapatan vegetasi di Kota Bandar Lampung secara kuantitatif melalui analisis regresi linier berganda.

- $H_0$  (Hipotesis Nol):

Perubahan kerapatan vegetasi yang direpresentasikan oleh *Forest Canopy Density* (FCD) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan suhu permukaan tanah dan lahan terbangun yang direpresentasikan oleh *Forest Canopy Density* (FCD) di Kota Bandar Lampung.

- $H_1$  (Hipotesis Alternatif):

Perubahan kerapatan vegetasi yang direpresentasikan oleh *Forest Canopy Density* (FCD) berpengaruh secara signifikan terhadap suhu permukaan tanah dan lahan terbangun di Kota Bandar Lampung.

Secara operasional, hipotesis ini menguji pengaruh Land Surface Temperature (LST) dan lahan terbangun yang direpresentasikan oleh *Normalised Difference Built-up Index* (NDBI) sebagai variabel independen terhadap kerapatan vegetasi (FCD) sebagai variabel dependen.

#### 2. Hipotesis Spesifik

Untuk memperkuat hasil pengujian hipotesis utama, penelitian ini juga dilengkapi dengan hipotesis pendukung yang bersifat deskriptif dan spasial, sebagai berikut:

- Peningkatan suhu permukaan tanah di Kota Bandar Lampung cenderung diikuti oleh penurunan nilai *Forest Canopy Density* (FCD).

- Wilayah dengan suhu permukaan tanah yang lebih tinggi memiliki tingkat kerapatan vegetasi yang lebih rendah dibandingkan wilayah dengan suhu permukaan tanah yang lebih rendah.
- Peningkatan luas dan intensitas lahan terbangun di Kota Bandar Lampung berasosiasi dengan penurunan kerapatan vegetasi.
- Perubahan nilai *Normalised Difference Built-up Index* (NDBI) menunjukkan hubungan negatif dengan *Forest Canopy Density* (FCD), dimana peningkatan nilai NDBI cenderung diikuti oleh penurunan kerapatan vegetasi.

Hipotesis pendukung ini diuji melalui analisis spasial, analisis perubahan multitemporal, serta interpretasi peta FCD, NDBI, dan LST untuk menggambarkan pola dan kecenderungan perubahan lingkungan perkotaan.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif, metodologi ini merupakan pendekatan penelitian yang menekankan pada pengukuran data secara numerik, analisis statistik, dan pengujian hubungan antar variabel secara objektif. Dalam penelitian penginderaan jauh dan lingkungan perkotaan, metodologi ini banyak digunakan karena mampu menggambarkan kondisi fisik wilayah secara terukur dan dapat direplikasi. Penelitian terdahulu di bidang pemetaan tutupan lahan dan vegetasi menunjukkan bahwa pendekatan kuantitatif efektif untuk menganalisis fenomena spasial yang luas, terutama ketika menggunakan data citra satelit (Lillesand dkk, 2015; Jensen, 2016).

Alat analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Analisis kerapatan vegetasi dengan metode FCD (*Forest Canopy Density*) dan metode klasifikasi terbimbing (*supervised classifications*). Alat analisis ini digunakan untuk menjawab tujuan satu yaitu menganalisis tingkat kerapatan vegetasi di Bandar Lampung.
2. Analisis tingkat konversi lahan dengan metode *Normalised Difference Built-up Index* (NDBI) telah digunakan secara luas untuk ekstraksi lahan terbangun area perkotaan. Alat analisis indeks ini digunakan dalam penginderaan jauh untuk mengidentifikasi dan memantau area lahan terbangun di wilayah perkotaan.
3. Analisis *Land Surface Temperature* (LST) adalah indeks pengukuran suhu permukaan tanah yang diukur atau diestimasi berdasarkan energi yang dipancarkan oleh tanah, vegetasi, air, atau material lainnya di permukaan.
4. Analisis *confusion matrix* dilakukan untuk memperoleh informasi tingkat ketelitian hasil klasifikasi *Ground Check*. Metode ini digunakan agar

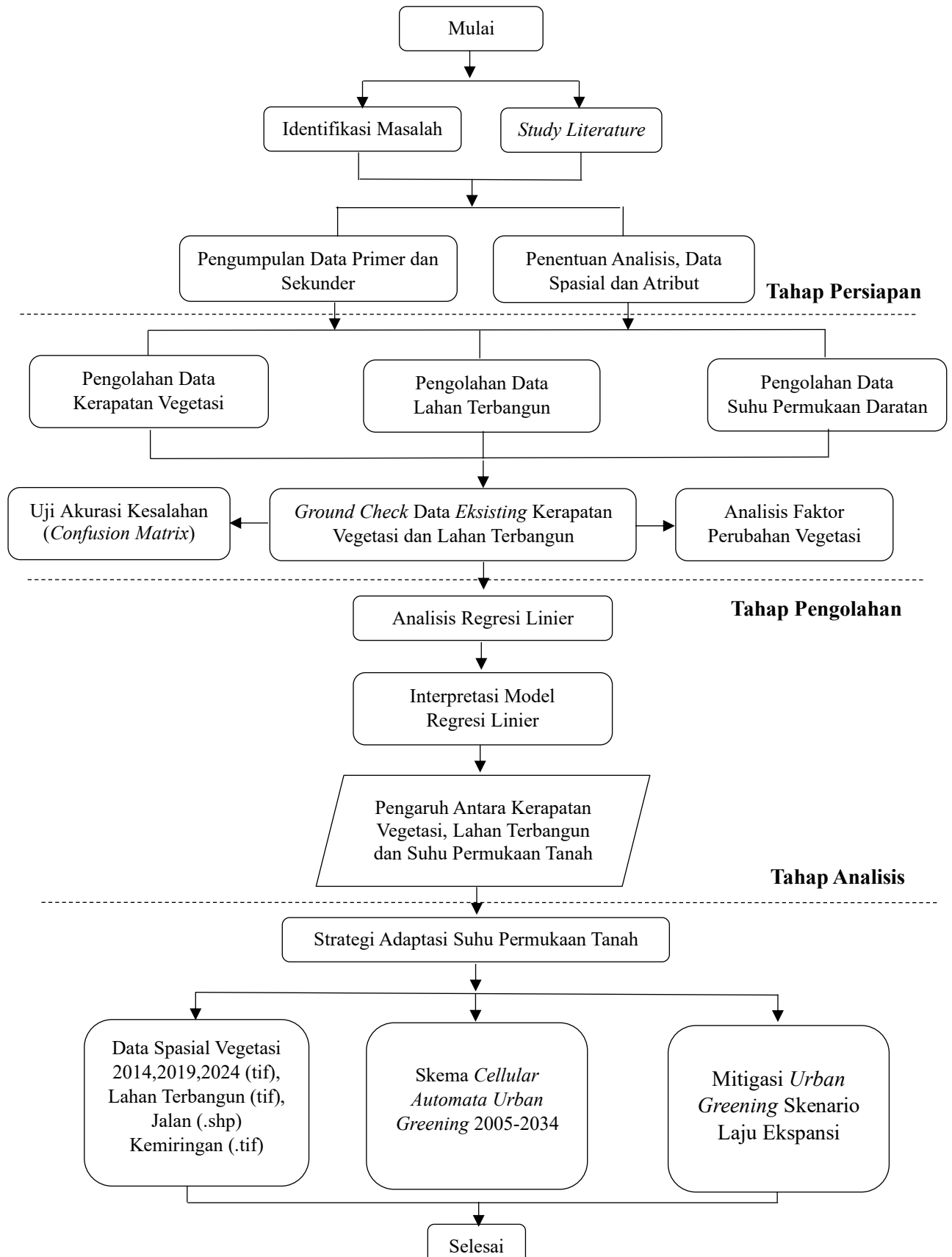
diperoleh nilai akurasi *overall* dan *Kappa*. *Overall accuracy* merupakan persentase jumlah *pixel* yang terklasifikasi secara benar (terdapat di diagonal matriks) dibagi dengan jumlah total piksel.

5. Analisis Perubahan Lahan Kota Bandar Lampung mengalami perubahan lahan signifikan akibat urbanisasi dan pertumbuhan penduduk. Konversi lahan pertanian dan hutan menjadi kawasan permukiman, komersial, dan infrastruktur mendominasi pola perubahan. Data penginderaan jauh menunjukkan penurunan area hijau dan peningkatan tutupan lahan buatan dalam 5 tahun terakhir. Perubahan ini menyebabkan berkurangnya resapan air, peningkatan risiko banjir, kenaikan suhu permukaan tanah dan penurunan kualitas lingkungan. Upaya mitigasi diperlukan melalui perencanaan tata ruang yang berkelanjutan, penghijauan kota, dan konservasi area alami. Dengan pendekatan tersebut, Kota Bandar Lampung dapat menyeimbangkan kebutuhan pembangunan dan keberlanjutan ekosistemnya. Perubahan lahan juga dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, faktor pertumbuhan penduduk, ekonomi dan infrastruktur.
6. Analisis regresi linier digunakan untuk menjelaskan hubungan antara satu atau lebih variabel independen (X) dan variabel dependen (Y). korelasi yang dihubungkan adalah korelasi kerapatan vegetasi, lahan terbangun terhadap suhu temperatur permukaan bumi. Kerangka konsep penelitian yang digunakan dalam penyusunan tesis ini dijelaskan pada Gambar 4.
7. Analisis Mitigasi Perubahan Suhu Permukaan Tanah merupakan penanggulangan fenomena *Urban Heat Island* (UHI) ditandai dengan peningkatan suhu permukaan akibat berkurangnya lahan bervegetasi dan dominasi area terbangun. Untuk mitigasinya, diperlukan penambahan ruang terbuka hijau, penerapan atap hijau, dan penggunaan material bangunan ber*Albedo* tinggi. Penelitian menunjukkan bahwa strategi tersebut efektif dalam menurunkan suhu permukaan dan meningkatkan kualitas lingkungan perkotaan. Skema *Cellular Automata* (CA) untuk *Urban greening* di Kota Bandar Lampung bertujuan mengatasi fenomena

*Urban Heat Island* (UHI) dengan memodelkan distribusi vegetasi di area perkotaan. Dengan memanfaatkan data suhu permukaan tanah (LST), penggunaan lahan (LULC), dan kepadatan vegetasi, CA mensimulasikan perubahan lanskap untuk meningkatkan area hijau. Proses ini melibatkan penataan vegetasi berdasarkan kriteria ekologis dan spasial yang mendukung pengurangan suhu lingkungan. Melalui pemodelan CA, perencanaan ruang hijau dapat dioptimalkan untuk mengurangi dampak pemanasan, memitigasi UHI, dan meningkatkan kualitas lingkungan di Bandar Lampung.

8. Analisis skema *urban greening* dengan skenario laju ekspansi untuk Kota Bandar Lampung diawali dari pemahaman bahwa perkembangan kawasan terbangun berlangsung cepat dan cenderung mengikuti tekanan kebutuhan ruang perkotaan, baik untuk permukiman, kegiatan ekonomi, maupun infrastruktur. Dalam konteks ini, ruang terbuka hijau tidak hanya dipandang sebagai elemen pelengkap tata ruang, tetapi sebagai instrumen strategis untuk menyeimbangkan dampak ekspansi kota terhadap lingkungan, khususnya peningkatan suhu permukaan tanah, penurunan kualitas udara, dan degradasi vegetasi.

Skenario laju ekspansi menekankan pendekatan adaptif, yaitu mengintegrasikan pengembangan vegetasi ke dalam wilayah yang mengalami pertumbuhan paling pesat melalui optimalisasi koridor hijau, peningkatan vegetasi pada lahan terbangun, serta perlindungan area hijau yang tersisa agar tidak terkonversi. Dengan demikian, analisis ini berfokus pada kemampuan skema *urban greening* dalam merespons dinamika perluasan kota Bandar Lampung secara realistis, terukur, dan selaras dengan arah kebijakan penataan ruang, sehingga fungsi ekologis perkotaan tetap terjaga meskipun tekanan pembangunan terus meningkat.



Gambar 4. . Kerangka Konsep Penelitian

### 3.2. Konsep Dasar dan Definisi Tahapan Penelitian

Konsep dasar dan batasan operasional merupakan komponen esensial dalam penelitian. Konsep dasar menyediakan landasan pemahaman yang mendalam tentang topik yang diteliti, menjadi kerangka awal untuk mengembangkan penelitian lebih lanjut. Sementara itu, batasan operasional mendefinisikan secara spesifik variabel-variabel yang akan diteliti, memandu analisis data agar selaras dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

Vegetasi perkotaan merujuk pada semua jenis tumbuhan yang tumbuh di lingkungan perkotaan, termasuk pohon, semak, rerumputan, dan taman. Vegetasi ini tidak hanya berfungsi sebagai elemen estetika tetapi juga sebagai komponen penting dalam siklus ekologi perkotaan. Perubahan vegetasi perkotaan dapat diartikan sebagai transformasi dalam komposisi, distribusi, dan kualitas vegetasi akibat berbagai faktor, baik alami maupun buatan manusia.

Perubahan Vegetasi Perkotaan merupakan pergeseran dalam jumlah, jenis, dan fungsi vegetasi yang terjadi karena tekanan lingkungan, urbanisasi, dan intervensi manusia. *Urban Heat Island (UHI)* adalah Fenomena dimana kawasan perkotaan memiliki suhu lebih tinggi dibandingkan dengan daerah sekitarnya akibat penyerapan dan pelepasan panas oleh infrastruktur kota. Infrastruktur Hijau merupakan sistem berbasis alam yang dirancang untuk memberikan manfaat lingkungan, seperti taman kota, koridor hijau, dan atap hijau.

Tabel 7. Pengolahan Data Vegetasi, Lahan Terbangun, dan LST

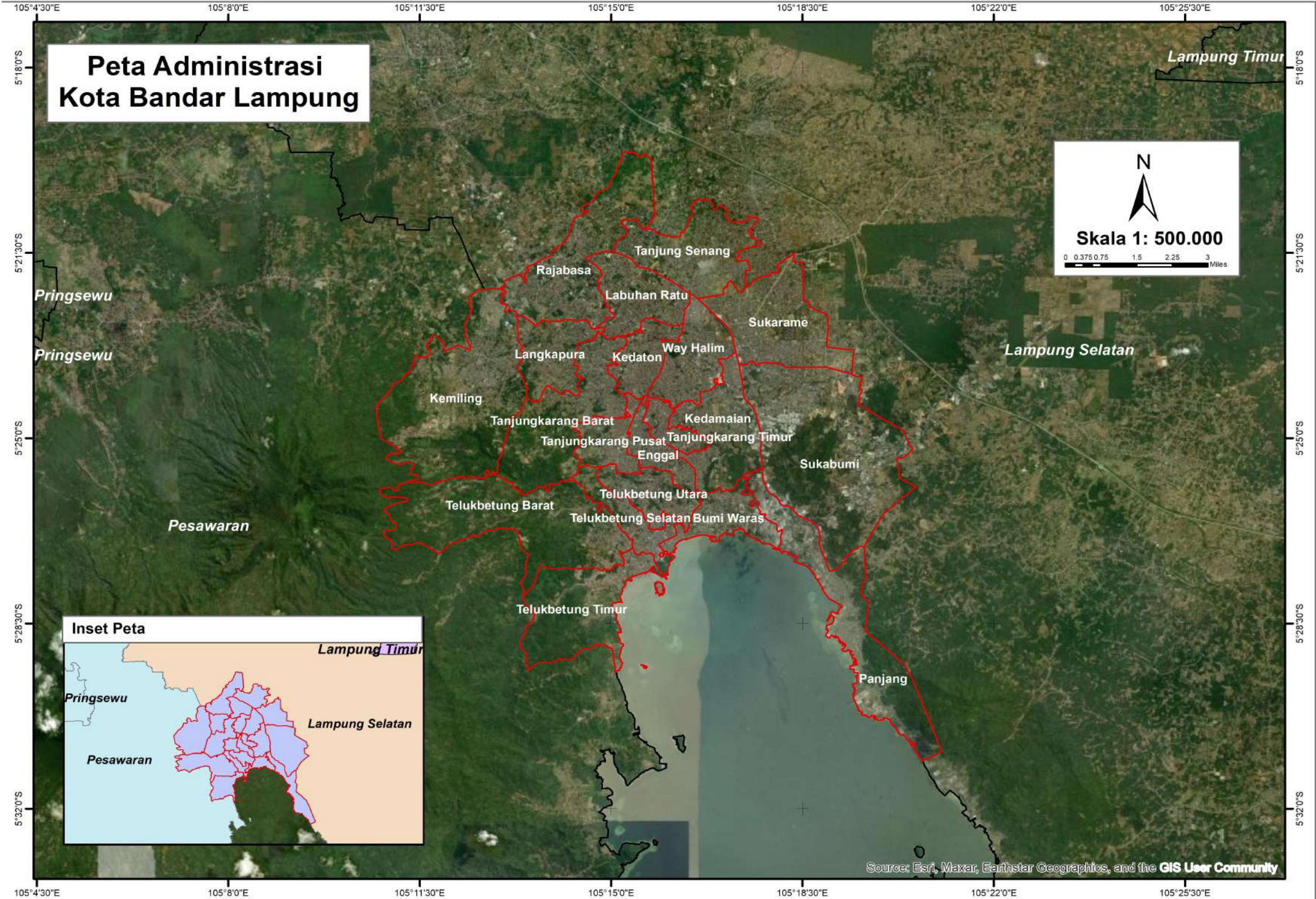
Komponen Analisis	Sensor/Citra Utama	Periode /Tahun	Resolusi Spasial	Resolusi Temporal	Band yang Digunakan	Alat/Software	Perangkat Lapangan
<b>Vegetasi (FCD)</b>	Landsat 8/9 OLI dan TIRS	2014,2019,2024 (sepanjang tahun)	30 m (OLI/TIRS)	16 hari (Landsat)	Blue, Green, Red, NIR, SWIR1, SWIR2 (OLI) + TIRS B10	Google Earth Engine, ArcGIS	GPS/GNSS handheld
<b>Lahan Terbangun (NDBI)</b>	Landsat 8/9 OLI	2014,2019,2024 (sepanjang tahun)	30 m (L8/9)   10–20 m (S2)	16 hari (Landsat)	NIR, SWIR1 (utama); Red untuk mask vegetasi	Google Earth Engine, ArcGIS	GPS/GNSS, kamera untuk verifikasi objek terbangun,
<b>Suhu Permukaan (LST)</b>	Landsat 8/9 TIRS (Band 10)	2014,2019,2024 (pilih hari cerah)	100 m (TIRS resampled ke 30 m)	16 hari (Landsat)	Thermal B10 (+ B11 untuk QC), emisivitas dari NDVI/kelas tutupan lahan	Google Earth Engine, ArcGIS	GPS/GNSS handheld

Sumber : Pengolahan Penelitian

### 3.3. Lokasi, *Sample Ground checking* dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari sampai Mei 2025 di Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Sebanyak 20 kecamatan ditetapkan sebagai lokasi penelitian, yaitu Kemiling, Langkapura, Rajabasa, Panjang, Bumi Waras, Sukarame, Way Halim, Tanjung Karang Timur, Labuhan Ratu, Kedaton, Enggal, Tanjungkarang Pusat, Teluk Betung Selatan, Telukbetung Utara, Kedamaian, Tanjung Karang Barat, Sukabumi, Tanjung Senang, Telukbetung Barat, Telukbetung Timur.

Penetapan lokasi penelitian dipilih secara sengaja (*purposive*) dengan pertimbangan bahwa kecamatan tersebut merupakan lokasi keseluruhan Kota Bandar Lampung Pengambilan sampel dilakukan dengan cara acak berdasarkan kelompok wilayah (*cluster random sampling*). Dalam teknik ini, sampel dipilih berdasarkan kelompok wilayah yang ada dalam populasi yang diteliti (Sugiyono, 2013).



Gambar 5. Peta Administrasi Kota Bandar Lampung

### 3.3.1. Tahapan Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan dari penelitian ini dibagi menjadi tiga yaitu, tahap persiapan, tahap pengumpulan data dan tahap pengolahan data.

#### 1) Tahap Persiapan

Adapun tahap persiapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

##### a) Identifikasi Masalah

Tahapan identifikasi masalah dilakukan dengan penentuan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini. Permasalahan pada penelitian ini berupa bagaimana nilai luas lahan vegetasi, lahan terbangun dan suhu temperatur di Kota Bandar Lampung pada tahun 2014, 2019 dan 2024 apakah terjadi penurunan nilai luas lahan dan konsentrasi suhu temperatur permukaan atau sebaliknya serta bagaimana hubungan antara luas lahan vegetasi, lahan terbangun dan suhu temperatur permukaan.

##### b) Studi Literatur

Pada tahapan studi literatur dilakukan pengumpulan referensi yang berkaitan dengan penelitian meliputi sistem informasi geografis, penginderaan jauh, definisi vegetasi, lahan terbangun, indeks vegetasi, indeks lahan terbangun, suhu indeks temperatur permukaan bumi, pengolahan penginderaan jauh dan uji korelasi dan regresi.

#### 2) Pengumpulan data

Tahapan pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data yang dibutuhkan dalam penelitian ini berupa data Landsat 8 *Band* 1- 11 yang diperoleh pada *website* <https://www.usgs.gov/> dan Peta Administrasi Kota Bandar Lampung.

### 3.3.2. Tahap Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan dilakukan beberapa tahapan. data citra Landsat dan Landsat 8 diolah pada *software* ArcGIS. Data citra yang digunakan untuk kerapatan vegetasi dan lahan terbangun adalah data citra Landsat *band* 2,3,4,5, dan 6 pada tahun 2014, 2019 dan 2024. Sementara data nilai LST diperoleh dari citra Landsat 8 *Band* 10 dan 11. Tahap pengolahan citra

Landsat 8 berupa kalibrasi radiometrik, koreksi geometrik, klasifikasi FCD, NDBI, pemotongan citra dan pengambilan nilai, LST dan yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

a. Pemotongan Citra

Pada tahap ini, dilakukan pemotongan citra Landsat 8 hasil perekaman tahun 2014, 2019 dan 2024. Proses pemotongan citra bertujuan untuk membatasi area sesuai dengan *area of interest* (AOI) yang telah ditentukan sebelumnya. Dengan membatasi luasan citra, analisis dapat lebih terfokus pada wilayah yang relevan, sehingga mempermudah proses pengolahan data lebih lanjut. Hal ini juga mengurangi beban komputasi dan waktu pemrosesan karena hanya bagian yang diperlukan saja yang diolah.

Selain itu, pemotongan citra berperan penting dalam meningkatkan efisiensi dalam proses klasifikasi, seperti identifikasi perubahan penggunaan lahan atau analisis vegetasi. Proses ini memastikan bahwa data yang digunakan sesuai dengan kebutuhan penelitian, baik dari segi cakupan wilayah maupun tingkat akurasi

b) Kalibrasi Radiometrik

Kalibrasi radiometrik merupakan tahapan penting dalam proses pengolahan citra satelit, khususnya pada citra Landsat 8. Tahapan ini bertujuan untuk mengubah nilai *Digital Number* (DN) menjadi nilai radian atau reflektan, sehingga data citra lebih representatif terhadap kondisi di lapangan. Proses ini menggunakan parameter-parameter yang disediakan dalam *file metadata* (MTL) dari citra tersebut. *File metadata* memuat informasi penting seperti nilai konstanta kalibrasi, sudut matahari, dan faktor pengali (*gain*) serta penambahan (*bias*). Dengan menggunakan parameter-parameter ini, citra Landsat 8 dapat dikoreksi agar lebih siap untuk analisis lebih lanjut.

c) Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik adalah proses untuk menghilangkan distorsi geometrik pada citra satelit, seperti Sentinel dan Landsat, agar sesuai dengan sistem koordinat yang diinginkan. Distorsi ini dapat terjadi akibat

faktor internal (karakteristik sensor) maupun faktor eksternal (perubahan posisi satelit, rotasi bumi, dan topografi).

Pada citra Sentinel (Sentinel-1 dan Sentinel-2), koreksi geometrik dilakukan melalui metode ortorektifikasi menggunakan model *Digital Elevation Model* (DEM). Sentinel-2 menyediakan Level-1C (ortorektifikasi parsial) dan Level-2A (koreksi atmosferik dan ortorektifikasi lebih lanjut).

Sementara itu, citra Landsat (misalnya, Landsat 8 dan 9) memiliki beberapa tingkat pemrosesan, termasuk Level-1T (*terrain-corrected*) yang telah dikoreksi secara geometrik menggunakan *Ground Control Points* (GCP) dan DEM. Proses ini meningkatkan akurasi spasial citra sehingga dapat digunakan dalam analisis geospasial yang presisi. Koreksi geometrik sangat penting dalam aplikasi seperti pemetaan lahan, deteksi perubahan lingkungan, dan analisis data spasial lainnya.

#### d) Koreksi atmosferik

Koreksi atmosferik merupakan tahapan penting dalam pengolahan data penginderaan jauh yang bertujuan untuk menghilangkan pengaruh atmosfer terhadap nilai reflektansi atau radian yang terekam oleh sensor satelit. Interaksi radiasi elektromagnetik dengan partikel atmosfer, seperti uap air, aerosol, dan gas, dapat menyebabkan distorsi nilai spektral sehingga informasi yang diperoleh tidak sepenuhnya merepresentasikan kondisi objek di permukaan bumi.

Oleh karena itu, koreksi atmosferik diperlukan agar data citra memiliki konsistensi radiometrik dan dapat dibandingkan secara temporal maupun spasial, terutama dalam analisis perubahan lingkungan. Dengan melakukan koreksi ini, nilai piksel hasil pengolahan menjadi lebih akurat dan mendekati karakteristik sebenarnya dari tutupan lahan, sehingga meningkatkan keandalan analisis lanjutan, seperti perhitungan indeks vegetasi, indeks lahan terbangun, maupun estimasi parameter lingkungan lainnya.

e) Klasifikasi Citra Metode FCD dan NDBI

Data Landsat 8 dari tahun 2014, 2019 dan 2024 dianalisis menggunakan metode klasifikasi *Forest Canopy Density* (FCD) dan *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI) pada perangkat lunak ArcGIS. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi luasan vegetasi dan lahan terbangun di Kota Bandar Lampung. FCD merupakan metode yang sering diterapkan dalam pengolahan citra untuk mengukur tingkat kehijauan, khususnya pada vegetasi. Nilai FCD dihitung berdasarkan perbedaan antara pantulan cahaya inframerah-dekat (NIR) dan cahaya merah (*Red*), yang memungkinkan identifikasi area vegetasi dengan tingkat akurasi yang tinggi. Sementara itu, NDBI digunakan untuk mendeteksi area lahan terbangun dengan menggunakan rasio spektral dari kanal inframerah-panjang (SWIR) dan NIR. Pendekatan ini sangat efektif dalam membagi wilayah berdasarkan karakteristik vegetasi dan non-vegetasi, memberikan hasil yang akurat untuk analisis penggunaan lahan serta perubahan lingkungan dari waktu ke waktu.

ArcGIS adalah perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) yang dirancang untuk mengolah dan menganalisis data spasial, termasuk data citra satelit, yang dikembangkan oleh *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). Salah satu metode analisis yang dapat diterapkan di ArcGIS adalah *Forest Canopy Density* (FCD). Dalam penelitian ini, metode FCD digunakan untuk memetakan kategori vegetasi berdasarkan tingkat kehijauan.

Dalam analisis klasifikasi terbimbing menggunakan metode FCD (*Forest Canopy Density*) dan NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*), peneliti berperan aktif dalam menentukan area contoh sampel (*training sample*) untuk setiap kelas penggunaan lahan. Nilai-nilai piksel yang terukur kemudian digunakan oleh perangkat lunak untuk mengenali dan mengelompokkan area dengan nilai piksel serupa sesuai dengan kelas yang ditargetkan.

Setelah melakukan analisis menggunakan FCD dan NDBI, langkah selanjutnya adalah pengamatan atau validasi lapangan (*ground check*)

yang bertujuan untuk mengukur tingkat ketelitian dalam menilai kepadatan kanopi hutan dan konversi lahan terbangun berdasarkan interpretasi citra digital. Metode uji ketelitian yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada konsep yang dijelaskan oleh Lillesand dan Kiefer (1990).

Tabel 8. Matriks Kesalahan

<i>Data Lapangan</i>	<i>Vegetasi Tinggi</i>	<i>Vegetasi sedang</i>	<i>Vegetasi Rendah</i>	<i>Lahan Terbangun</i>	<i>Total</i>	<i>U.Accuracy</i>	<i>Kappa</i>
<i>Data Penelitian</i>							
<i>Vegetasi Tinggi</i>							
<i>Vegetasi Sedang</i>							
<i>Vegetasi Rendah</i>							
<i>Lahan Terbangun</i>							
<i>Total</i>							
<i>P.Accuracy</i>							
<i>Kappa</i>							

Sumber: Hasil Pengolahan Penelitian

Akurasi *overall* digunakan untuk mengukur sejauh mana hasil klasifikasi citra dapat mencocokkan dengan data referensi atau data lapangan yang sebenarnya. Rumus akurasi overall adalah:

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah Titik True Positif}}{\text{Jumlah Titik Sampel}} \times 100\% \dots \dots (18)$$

Penghitungan tingkat konversi lahan berdasarkan pada SNI 8033:2014 yang mengatur metode perhitungan perubahan tutupan hutan melalui penafsiran citra penginderaan jauh optik secara visual. Perubahan tutupan lahan diberi notasi PT, dimana jika nilai PT positif, maka terjadi penambahan tutupan hutan, sedangkan jika nilai PT negatif, maka terjadi pengurangan tutupan hutan. Penjelasan matematis mengenai hal ini dapat dilihat dalam referensi

$$\text{Presentase Perubahan} = \frac{\text{Luas Tahun Terakhir} - \text{Luas Tahun Sebelumnya}}{\text{Luas Tahun Sebelumnya}} \times 100 \dots \dots (19)$$

Menurut Yusuf et al., (2020) tingkat konversi lahan dapat dikategorikan menjadi tinggi, sedang dan rendah. Kategori ini dijelaskan pada Tabel 9.

Tabel 9. Kategori tingkat konversi lahan

Tingkat konversi lahan	Kategori
>3% /tahun	Tinggi
2,5 – 3% /tahun	Sedang
<2,5% /tahun	Rendah

Sumber : Yusuf dkk., (2020)

### 3.3.3. Analisis Regresi Linier Berganda

Regresi linier berganda mengidentifikasi seberapa besar kontribusi masing-masing variabel independen (lahan terbangun dan suhu permukaan tanah) terhadap variabel dependen (vegetasi). Model yang umum digunakan dalam penelitian ini adalah:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_n \cdot X_n + \varepsilon \dots \dots (20)$$

#### a) Hubungan Lahan Terbangun dan Vegetasi

Konversi lahan menjadi area terbangun sering kali berdampak negatif terhadap vegetasi. Penelitian di Kota Bandar Lampung (Yusuf, dkk. 2020) menunjukkan bahwa semakin besar konversi lahan menjadi lahan terbangun, semakin besar penurunan vegetasi. Regresi linier berganda menunjukkan hubungan signifikan antara konversi lahan dan penurunan vegetasi, terutama di area perkotaan yang berkembang pesat.

#### b) Hubungan Suhu Permukaan Tanah dan Vegetasi

Peningkatan suhu permukaan tanah, terutama akibat urbanisasi, dapat menyebabkan stres pada vegetasi dan mengurangi kualitasnya. Penelitian di Jakarta (Setiawan, 2018) menunjukkan bahwa peningkatan suhu permukaan tanah berhubungan dengan penurunan kualitas vegetasi. Hasil regresi linier berganda menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi menyebabkan penurunan vegetasi.

#### c) Model Regresi Linier Berganda

Model regresi yang menggabungkan suhu permukaan tanah dan lahan terbangun menunjukkan kontribusi besar kedua faktor tersebut terhadap perubahan vegetasi. Koefisien negatif pada variabel lahan terbangun dan suhu menunjukkan bahwa peningkatan keduanya berhubungan dengan penurunan vegetasi.

#### d) Interpretasi Hasil

Koefisien  $\beta_1$  (lahan terbangun): Menunjukkan bahwa semakin banyak lahan yang dikonversi menjadi terbangun, semakin berkurang vegetasi.

Koefisien  $\beta_2$  (suhu permukaan tanah): Peningkatan suhu mengurangi

vegetasi. Nilai  $R^2$ : Mengukur seberapa baik model ini menjelaskan variabilitas data, dengan nilai lebih tinggi menunjukkan model yang lebih baik. Lahan terbangun dan suhu permukaan tanah berpengaruh signifikan terhadap perubahan vegetasi. Model regresi linier berganda dapat digunakan untuk memprediksi dampak perubahan penggunaan lahan terhadap lingkungan, dan membantu kebijakan perencanaan kota yang lebih ramah lingkungan.

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan spasial, yang bersifat eksplanatori, karena bertujuan untuk menjelaskan pengaruh variabel suhu permukaan tanah dan lahan terbangun terhadap perubahan kerapatan vegetasi perkotaan. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menguji hubungan antarvariabel secara statistik, sedangkan pendekatan spasial digunakan untuk menganalisis distribusi dan pola perubahan vegetasi, lahan terbangun, dan suhu permukaan tanah secara keruangan.

#### 3.3.4. Analisis Mitigasi Perubahan Suhu Permukaan Tanah

Mitigasi perubahan suhu permukaan tanah (*Urban Heat Island Effect/UHI*) merupakan salah satu tantangan utama dalam perencanaan kota, terutama di daerah perkotaan yang berkembang pesat seperti Bandar Lampung.

Perubahan suhu permukaan tanah yang signifikan dapat menyebabkan dampak buruk terhadap kualitas hidup, kesehatan, dan lingkungan. Salah satu metode yang digunakan untuk memodelkan dan menganalisis mitigasi perubahan suhu permukaan tanah adalah *Cellular Automata (CA)*, yang menggabungkan faktor spasial dan temporal dalam simulasi perubahan penggunaan lahan.

##### 1. Pengenalan *Cellular Automata (CA)*

*Cellular Automata* adalah model matematika berbasis *grid* yang digunakan untuk menggambarkan sistem dinamis yang kompleks dengan

elemen-elemen yang berinteraksi satu sama lain sesuai aturan tertentu. CA terdiri dari sel-sel yang membentuk *grid* dan dapat berubah statusnya berdasarkan kondisi lingkungan sekitar. Dalam konteks mitigasi suhu permukaan tanah, CA digunakan untuk mensimulasikan perubahan lahan (misalnya, konversi lahan vegetasi menjadi lahan terbangun) dan memprediksi dampaknya terhadap suhu permukaan tanah di masa depan.

2. Proses simulasi dengan CA memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi pola-pola perubahan suhu yang terkait dengan perubahan penggunaan lahan. *Cellular Automata* mengandalkan dua komponen utama: aturan transisi sel yang menentukan bagaimana sel-sel berinteraksi dan berubah status, serta proses probabilistik yang memungkinkan prediksi perkembangan ruang di masa depan. CA telah banyak digunakan dalam penelitian lingkungan dan perencanaan kota untuk memahami konversi lahan dan dampaknya terhadap fenomena seperti suhu permukaan tanah, kualitas udara, dan aliran air.
3. Aplikasi CA untuk Mitigasi Suhu Permukaan Tanah di Bandar Lampung  
Kota Bandar Lampung, sebagai pusat pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi, mengalami peningkatan lahan terbangun yang signifikan. Konversi lahan hijau (vegetasi) menjadi area terbangun (seperti perumahan dan kawasan komersial) menyebabkan peningkatan suhu permukaan tanah yang berdampak pada kualitas hidup masyarakat dan kesehatan lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis mitigasi perubahan suhu permukaan tanah dengan menggunakan metode *Cellular Automata* di Bandar Lampung.

Dalam penelitian ini, data citra satelit Landsat digunakan untuk memetakan perubahan tutupan lahan dan suhu permukaan tanah. Suhu permukaan tanah diukur menggunakan metode *Land Surface Temperature (LST)*, sementara perubahan penggunaan lahan dianalisis melalui klasifikasi tutupan lahan. Selanjutnya, model *Cellular Automata* diterapkan untuk mensimulasikan

perubahan suhu permukaan tanah akibat konversi lahan di masa depan dan mengidentifikasi area yang rentan terhadap fenomena UHI.

### 1. Langkah-langkah Metode CA dalam Penelitian Ini

#### a. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup citra satelit dari Landsat untuk tahun 2014, 2019, dan 2024. Citra ini memberikan informasi tentang penggunaan lahan dan suhu permukaan tanah (LST) dari tahun-tahun tersebut. Selain itu, data demografis, kebijakan perencanaan kota, dan data iklim juga digunakan untuk memberikan konteks lebih dalam untuk analisis.

#### b. Klasifikasi Tutupan Lahan

Dengan menggunakan perangkat lunak seperti ArcGIS 10.8, citra satelit diklasifikasikan menjadi beberapa kategori, seperti vegetasi, lahan terbangun. Klasifikasi ini dilakukan berdasarkan metode *supervised classification* yang mengandalkan *training sample* untuk mengenali jenis tutupan lahan.

#### c. Penerapan Model *Cellular Automata*

Model *Cellular Automata* diterapkan untuk mensimulasikan perubahan penggunaan lahan di masa depan, berdasarkan aturan transisi yang ditentukan oleh variabel-variabel seperti kepadatan penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan kebijakan pembangunan. Aturan-aturan ini mengatur bagaimana sel-sel (yang mewakili area tertentu) dapat berubah dari satu status ke status lain, seperti dari vegetasi menjadi lahan terbangun.

#### d. Simulasi dan Validasi

Simulasi dilakukan untuk memproyeksikan perubahan suhu permukaan tanah akibat konversi lahan di masa depan. Untuk memvalidasi hasil simulasi, data lapangan atau *ground check* digunakan untuk membandingkan hasil prediksi model dengan kondisi nyata. Pengukuran ketelitian dan akurasi dilakukan dengan menggunakan Matriks Ketelitian dan Indeks *Kappa* untuk memastikan model yang dihasilkan dapat dipercaya.

#### e. Analisis Mitigasi

Setelah memodelkan perubahan suhu permukaan tanah, penelitian ini juga mengidentifikasi area yang paling rentan terhadap efek UHI. Mitigasi dilakukan dengan mempertimbangkan kebijakan perencanaan kota yang mengurangi konversi lahan vegetasi menjadi lahan terbangun, serta meningkatkan ruang terbuka hijau (RTH) untuk menurunkan suhu permukaan tanah di area yang rawan. Analisis ini dapat membantu pembuat kebijakan dalam merencanakan langkah-langkah mitigasi yang lebih efektif.

### 2. Hasil dan Diskusi

Hasil simulasi dengan model CA menunjukkan bahwa konversi lahan yang pesat di beberapa kecamatan di Bandar Lampung telah meningkatkan suhu permukaan tanah. Di kawasan yang mengalami urbanisasi tinggi, seperti Tanjung Karang dan Kemiling, suhu permukaan tanah menunjukkan kenaikan yang signifikan. Area yang sebelumnya memiliki vegetasi tinggi kini lebih banyak memiliki lahan terbangun, yang memperburuk efek UHI.

Namun, model juga menunjukkan bahwa dengan mengatur dan meningkatkan ruang terbuka hijau, serta memperlambat laju konversi lahan, suhu permukaan tanah dapat ditekan. Kebijakan yang mengarah pada konservasi lahan hijau dan pengelolaan taman kota dapat mengurangi dampak buruk perubahan suhu ini.

## IV. GAMBARAN UMUM PENELITIAN

### 4.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

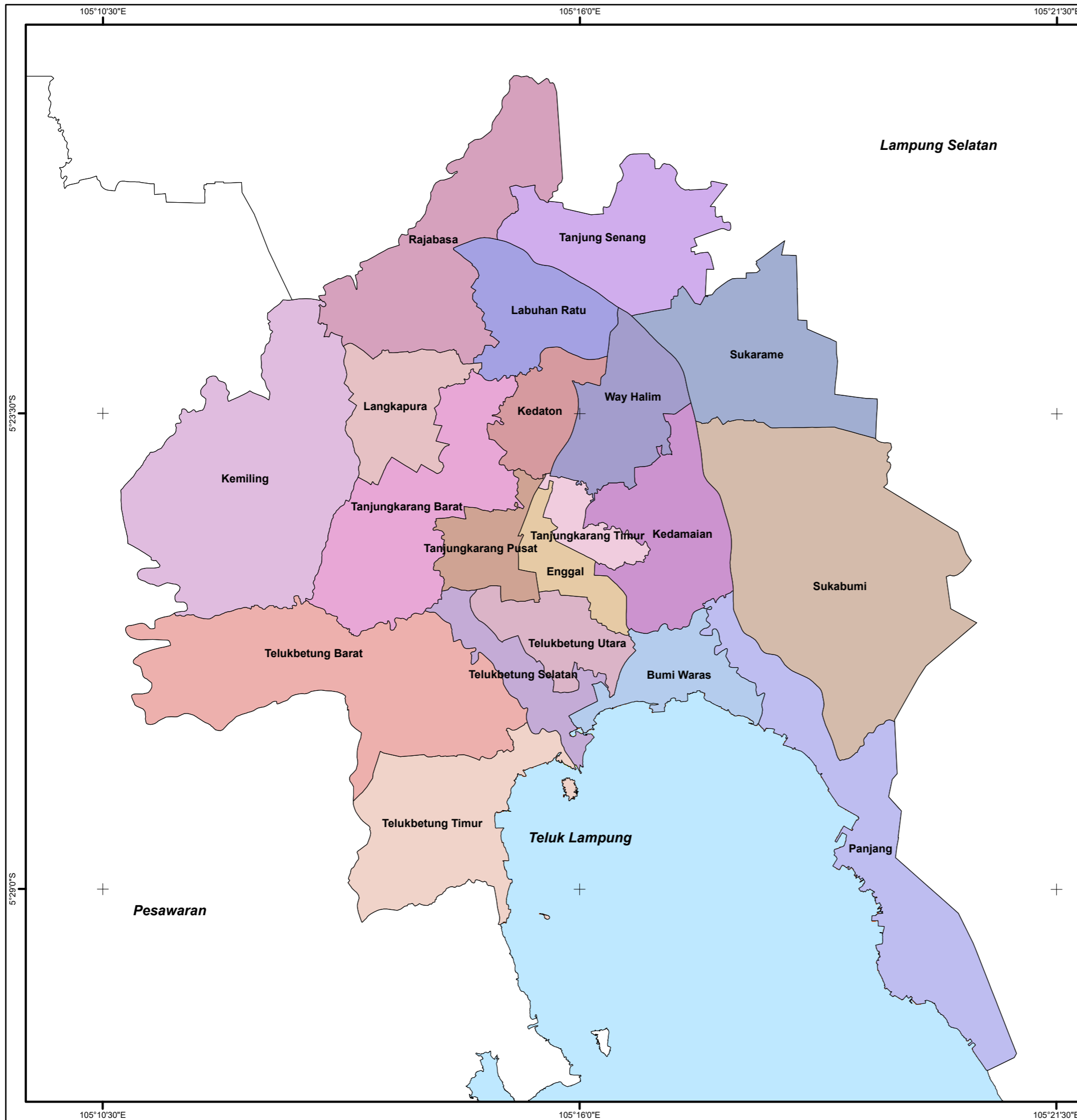
#### 4.1.1. Kota Bandar Lampung

Bandar Lampung terletak di ujung selatan Pulau Sumatra dengan koordinat astronomis sekitar  $5^{\circ}27'$  Lintang Selatan –  $105^{\circ}16'$  Bujur Timur. Kota ini merupakan ibu kota Provinsi Lampung dan berada pada Zona Waktu Indonesia Barat. Luas administratif kota sekitar  $197,22 \text{ km}^2$  atau  $197220 \text{ Ha}$  tergantung definisi area kota/aglomerasi, dengan kepadatan penduduk yang meningkat pesat selama dua dekade terakhir; data resmi kependudukan dapat diakses melalui Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Bandar Lampung.

Secara topografi, morfologi Bandar Lampung bervariasi — dari dataran pesisir di bagian selatan (Teluk Betung dan daerah Pelabuhan Panjang) hingga wilayah perbukitan dan punggung kecil yang membentang dari barat ke timur dengan puncak-puncak rendah seperti Gunung Betung dan Gunung Dibalau; elevasi kota berkisar dari permukaan laut hingga beberapa ratus meter pada titik tertinggi di daerah perbukitan. Kondisi topografi ini berpengaruh pada pola drainase, rawan banjir di dataran rendah, dan potensi longsor pada lereng terjal.

Iklim Bandar Lampung bersifat tropis lembap dengan dua musim yang kurang tegas (musim hujan dan relatif lebih kering); suhu tahunan umumnya berkisar antara kira-kira  $23^{\circ}\text{C}$ – $32^{\circ}\text{C}$ , dengan kelembapan tinggi dan curah hujan signifikan pada bulan-bulan puncak hujan. Karakter iklim ini memengaruhi tutupan lahan, vegetasi pesisir, dan dinamika permukaan (mis. evapotranspirasi, LST).

Beberapa penelitian terdahulu yang relevan (ringkas): studi pemetaan dan dinamika tata guna lahan di Bandar Lampung yang menganalisis perubahan penggunaan lahan dekade-per-dekade; penelitian model simulasi pembangunan perkotaan yang mengevaluasi proyeksi pertumbuhan dan kesesuaian lahan; dan laporan kajian perkotaan/ketahanan iklim yang menyorot isu banjir, ruang terbuka hijau, dan adaptasi iklim kota. Hasil-hasil ini menjadi dasar penting untuk setiap penelitian yang menghubungkan tutupan lahan dengan variabel lingkungan seperti suhu permukaan (LST), alih fungsi lahan, dan kualitas lingkungan perkotaan (Sutiyoso, 2015).



# Peta Administrasi Kota Bandar Lampung

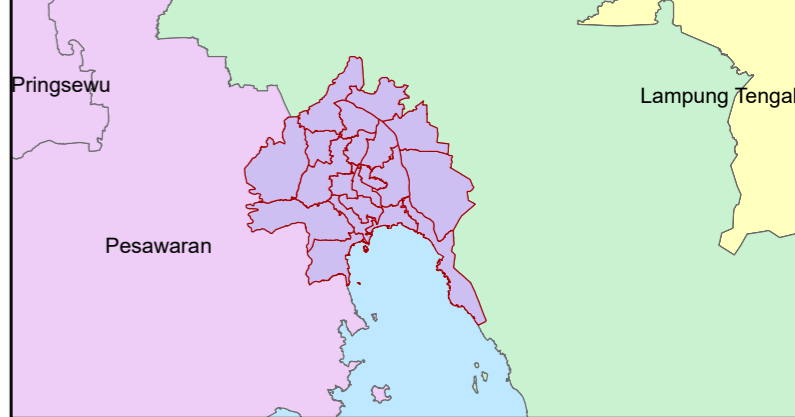
N

**Skala 1:85.000**

0 1.75 3.5 7 10.5 14 Miles


Datum  
World Geodetic System 1984 (48 S)

Sumber :  
1. Peta RBI Kota Bandar Lampung  
2. Peta Citra Landsat 8



### Legenda

	Sukarame		Bumi Waras
	Tanjung Senang		Enggal
	Tanjungkarang Barat		Kedamaian
	Tanjungkarang Pusat		Kedaton
	Tanjungkarang Timur		Kemiling
	Telukbetung Barat		Labuhan Ratu
	Telukbetung Selatan		Langkapura
	Telukbetung Timur		Panjang
	Telukbetung Utara		Rajabasa
	Way Halim		Sukabumi



**DIBUAT OLEH:**  
**RENANDA ANDARI**  
**220051013**  
**MAGISTER PERENCANAAN**  
**WILAYAH DAN KOTA**

Gambar 6. Peta Administrasi Kota Bandar Lampung

#### 4.1.2. Perubahan Vegetasi Berdampak Dalam Segala Aspek

Kota Bandar Lampung merupakan wilayah metropolitan yang mengalami tekanan urbanisasi cukup tinggi dalam dua dekade terakhir. Pertumbuhan penduduk, ekspansi kawasan perumahan, pembangunan infrastruktur, dan peningkatan aktivitas ekonomi telah mengubah struktur ruang kota secara signifikan. Konversi lahan vegetasi menuju lahan terbangun menyebabkan penurunan kualitas lingkungan, terutama meningkatnya suhu permukaan tanah (LST), yang dalam banyak literatur dikenal sebagai fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Pada konteks ini, dinamika vegetasi menjadi penentu penting dalam kestabilan iklim mikro kawasan perkotaan.

Vegetasi kota berfungsi sebagai penyerap karbon, peneduh, pengatur kelembapan, serta pendingin alami melalui proses evapotranspirasi. Namun, berbagai penelitian menunjukkan bahwa kota dengan laju urbanisasi tinggi cenderung mengalami penurunan tutupan vegetasi yang mengakibatkan kenaikan temperatur permukaan. Studi global dari Seletkovic, dkk. (2022) menegaskan bahwa degradasi vegetasi memiliki hubungan langsung dengan peningkatan intensitas UHI. Di Indonesia, hasil riset serupa ditunjukkan oleh Sri Sutarni, dkk. (2021), dimana wilayah dengan vegetasi rapat menunjukkan nilai LST lebih rendah dibanding kawasan terbangun.

Perkembangan teknologi penginderaan jauh memungkinkan perubahan vegetasi dianalisis secara temporal melalui indeks seperti *Forest Canopy Density* (FCD). FCD, yang dikembangkan oleh Rikimaru (2002), menawarkan pendekatan biofisik yang lebih stabil dalam mempresentasikan kerapatan tajuk dibanding indeks sederhana seperti NDVI. Selain itu, untuk memetakan aktivitas urban, digunakan pula *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI) dan analisis suhu permukaan menggunakan metode LST pada citra Landsat.

Meskipun kajian mengenai hubungan vegetasi dan UHI sudah banyak dilakukan, penelitian yang memadukan analisis perubahan vegetasi

multitemporal (2014, 2019,2024) dengan model statistik dan penjelasan faktor-faktor perubahan vegetasi secara spesifik untuk Kota Bandar Lampung masih jarang dilakukan. Oleh karena itu, tesis ini mengisi kesenjangan ilmiah tersebut dengan menganalisis dinamika perubahan FCD, pola peningkatan lahan terbangun, serta respon suhu permukaan tanah dalam tiga periode penting perkembangan kota.

#### **4.1.3. Kondisi Penggunaan Lahan dan Perkembangan Perkotaan Terkini**

Kondisi penggunaan lahan Kota Bandar Lampung pada periode terkini menunjukkan dominasi kawasan terbangun yang semakin meluas, terutama pada wilayah pusat kota dan koridor perkembangan utama. Kawasan-kawasan seperti Tanjungkarang, Teluk Betung, Panjang, dan Sukarame berkembang sebagai pusat permukiman, perdagangan, dan aktivitas jasa, sehingga ditandai oleh tingginya proporsi permukaan kedap air seperti bangunan, jalan, dan infrastruktur pendukung. Perluasan kawasan terbangun ini berlangsung seiring dengan pertumbuhan penduduk dan peningkatan kebutuhan ruang perkotaan, yang secara bertahap menggeser keberadaan lahan vegetasi, khususnya vegetasi alami dan ruang terbuka hijau skala besar.

Sebaran vegetasi di Kota Bandar Lampung menunjukkan pola yang tidak merata. Kawasan dengan tingkat kerapatan vegetasi relatif tinggi masih dijumpai pada wilayah pinggiran kota dan daerah perbukitan, seperti sebagian Kecamatan Kemiling, Langkapura, dan Rajabasa, yang secara topografis kurang intensif dimanfaatkan sebagai kawasan terbangun. Sebaliknya, wilayah pusat kota dan kawasan pesisir cenderung memiliki kerapatan vegetasi rendah akibat tekanan pembangunan yang tinggi dan keterbatasan ruang untuk pengembangan vegetasi. Pola ini mencerminkan adanya gradasi urbanisasi dari pusat menuju pinggiran kota, dimana

intensitas lahan terbangun menurun seiring meningkatnya jarak dari pusat aktivitas perkotaan.

Tekanan urbanisasi yang lebih kuat di wilayah pusat kota menyebabkan fragmentasi vegetasi dan berkurangnya kontinuitas ruang hijau, sementara kawasan pinggiran kota masih berfungsi sebagai penyangga ekologis dengan kerapatan vegetasi yang relatif lebih baik. Kondisi penggunaan lahan yang kontras antara pusat dan pinggiran kota ini menjadi faktor penting dalam dinamika perubahan vegetasi dan respon suhu permukaan tanah di Kota Bandar Lampung. Oleh karena itu, pemahaman terhadap kondisi spasial penggunaan lahan *eksisting* menjadi dasar penting dalam menganalisis perubahan *Forest Canopy Density* (FCD), peningkatan lahan terbangun, serta variasi *Land Surface Temperature* (LST) yang dibahas lebih lanjut pada Bab V.

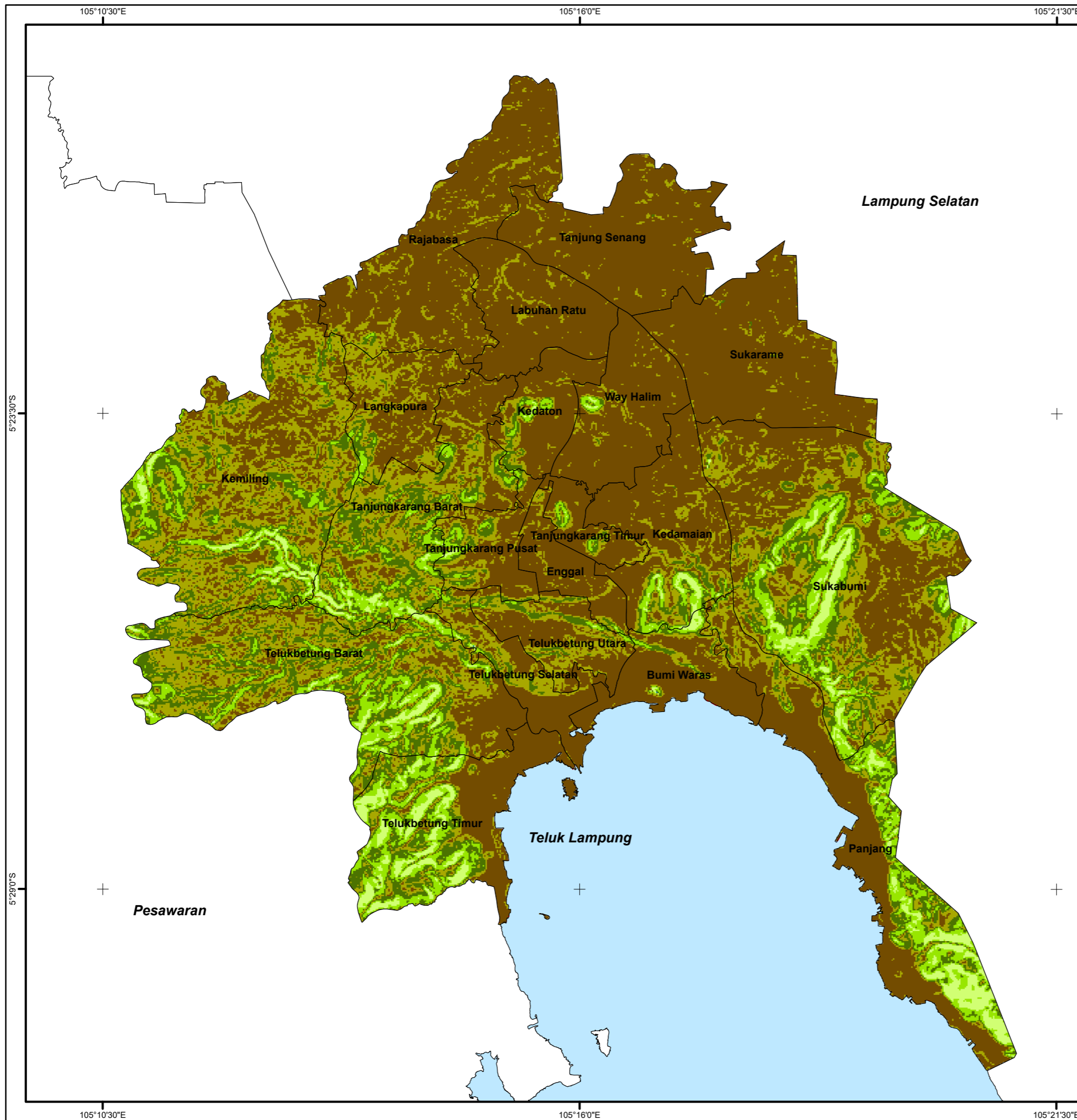
#### **4.2. Peta Topografi/Ketinggian (*Digital Elevation Model/DEM*)**

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 41/PRT/M/2007 tentang Pedoman Kriteria Teknis Kawasan Budidaya memberikan landasan teknis dalam pemanfaatan ruang dengan mempertimbangkan kondisi fisik wilayah, salah satunya kemiringan lereng sebagai faktor penentu kesesuaian lahan. Regulasi ini mengklasifikasikan kemiringan lereng ke dalam beberapa kelas, mulai dari datar hingga sangat curam, yang digunakan untuk membedakan tingkat kemampuan dan pembatasan lahan bagi kegiatan budidaya dan pembangunan. Dalam konteks tesis ini, klasifikasi tersebut menjadi acuan penting dalam penyusunan peta kemiringan lereng yang dihasilkan dari data *Digital Elevation Model* (DEM), karena memungkinkan interpretasi topografi wilayah secara objektif dan terstandar. Peta kemiringan lereng berbasis DEM tidak hanya merepresentasikan variasi morfologi lahan secara spasial, tetapi juga berfungsi sebagai dasar analisis kesesuaian pemanfaatan ruang dan potensi risiko lingkungan, sehingga hasil pemetaan yang diperoleh selaras dengan ketentuan teknis nasional dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah maupun regulatif.

Peta topografi atau *Digital Elevation Model* (DEM) digunakan untuk menggambarkan variasi ketinggian wilayah Kota Bandar Lampung yang memiliki morfologi beragam, mulai dari dataran pesisir hingga kawasan perbukitan. Elevasi wilayah ini berkisar dari permukaan laut di pesisir selatan hingga ratusan meter di bagian barat dan utara, yang memengaruhi kondisi fisik wilayah, pola penggunaan lahan, sebaran vegetasi, serta dinamika suhu permukaan tanah.

Wilayah berelevasi rendah, terutama kawasan pesisir dan pusat kota, didominasi oleh kawasan terbangun dengan permukaan kedap air yang cenderung meningkatkan suhu permukaan tanah. Sebaliknya, wilayah berelevasi lebih tinggi di kawasan perbukitan dan pinggiran kota masih memiliki tutupan vegetasi yang lebih baik, sehingga mendukung evapotranspirasi dan menurunkan suhu permukaan tanah.

Topografi juga memengaruhi aliran udara, kelembapan, dan distribusi panas yang membentuk variasi iklim mikro dan pola *Land Surface Temperature* (LST). Oleh karena itu, DEM digunakan sebagai dasar untuk memahami keterkaitan antara kondisi fisik wilayah, kerapatan vegetasi (*Forest Canopy Density/FCD*), dan respon suhu permukaan tanah sebagai konteks analisis pada bab selanjutnya.



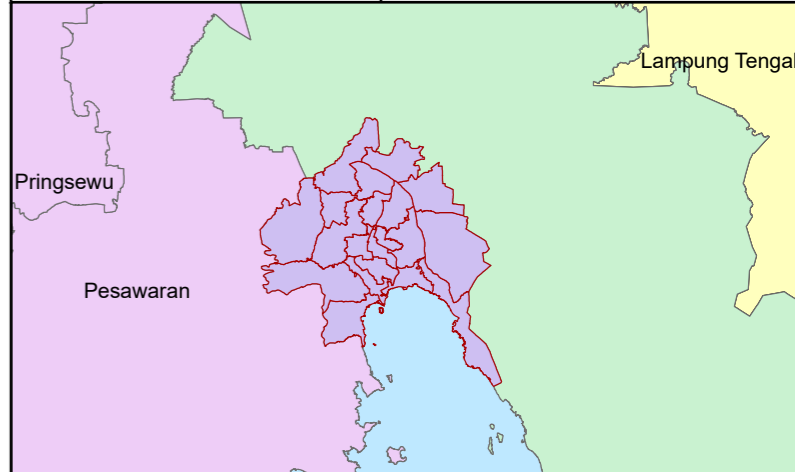
# Peta Kemiringan Lereng Kota Bandar Lampung 2024

**Datum**  
World Geodetic System 1984 (48 S)







**Sumber :**  
1. Peta RBI Kota Bandar Lampung  
2. Peta DEMNAS Kota Bandar Lampung

**Skala 1:85.000**

0 0,275 0,55 1,1 1,65 2,2 Miles



## Legenda

-  **Batas Wilayah Administrasi**
-  **Datar**
-  **Landai**
-  **Agak Curam**
-  **Curam**
-  **Sangat Curam**



**DIBUAT OLEH:**  
**RENANDA ANDARI**  
**220051013**  
**MAGISTER PERENCANAAN**  
**WILAYAH DAN KOTA**

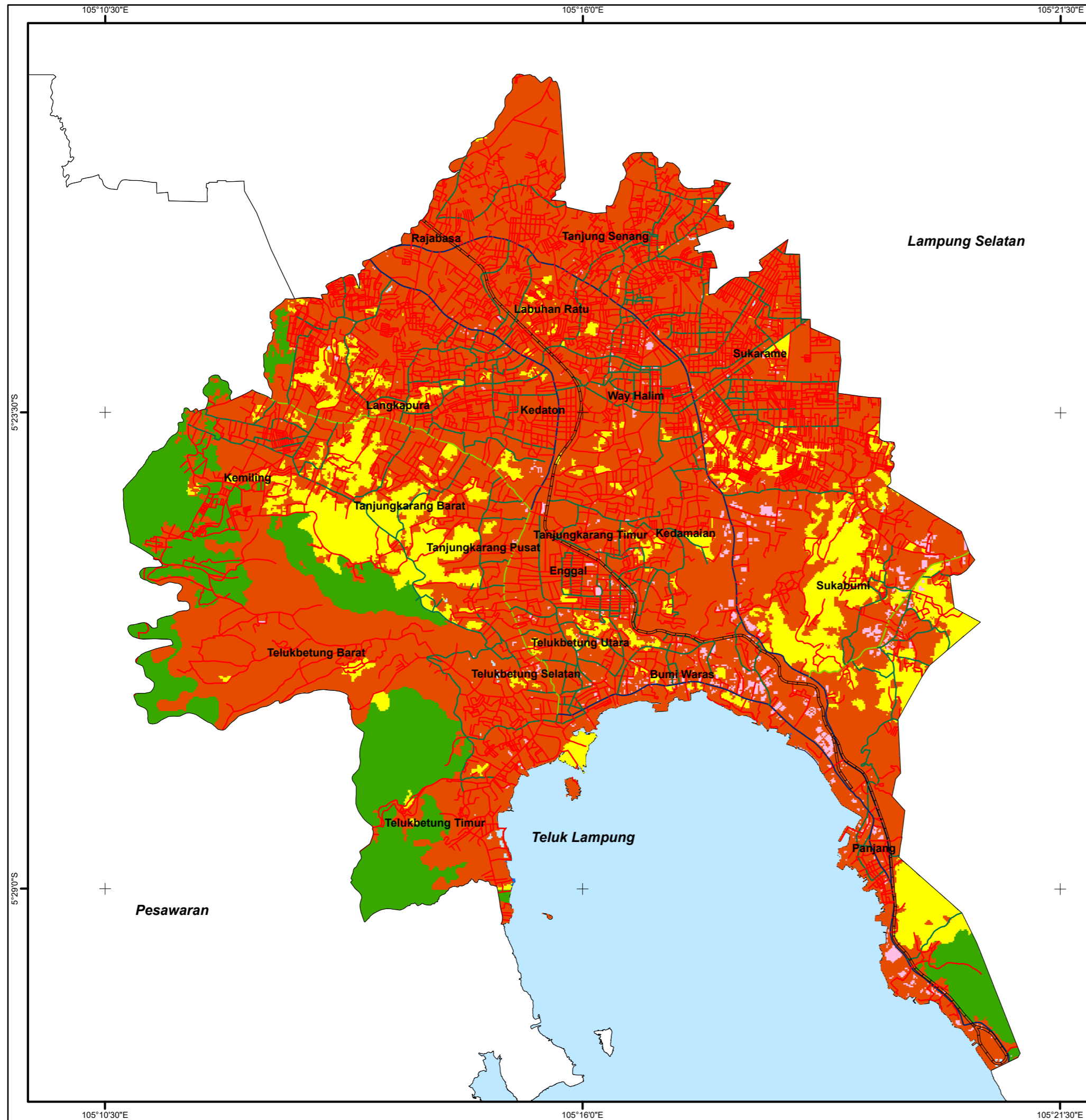
Gambar 7. Peta Kemiringan Kota Bandar Lampung 2024

#### 4.2.1. Peta Penggunaan Lahan *Eksisting* Kota Bandar Lampung tahun 2024

Peta penggunaan lahan *eksisting* Kota Bandar Lampung tahun 2024 menunjukkan dominasi kawasan terbangun, terutama permukiman dan infrastruktur, yang terkonsentrasi di pusat kota dan koridor perkembangan utama seperti Tanjungkarang Pusat, Tanjungkarang Timur, Kedaton, Way Halim, Sukarame, dan sebagian Rajabasa. Tingginya kepadatan infrastruktur pada kawasan ini mencerminkan intensitas aktivitas perkotaan dan tekanan urbanisasi yang berdampak pada berkurangnya ruang vegetasi.

Sebaran vegetasi menunjukkan pola tidak merata, dengan kerapatan relatif tinggi di wilayah pinggiran dan perbukitan seperti Kecamatan Kemiling, sebagian Telukbetung Barat dan Timur, serta wilayah selatan dan barat kota, yang masih berfungsi sebagai penyangga ekologis. Sebaliknya, pusat kota dan kawasan pesisir didominasi vegetasi rendah akibat ekspansi kawasan terbangun.

Keberadaan badan air, termasuk Teluk Lampung dan sungai-sungai utama, berperan dalam sistem ekologis kota, namun belum mampu mengimbangi dominasi lahan terbangun di daratan. Secara keseluruhan, peta ini memperlihatkan gradasi urbanisasi dari pusat kota ke pinggiran dan menjadi dasar analisis keterkaitan perubahan FCD, peningkatan lahan terbangun (NDBI), serta variasi *Land Surface Temperature* (LST) pada bab selanjutnya.



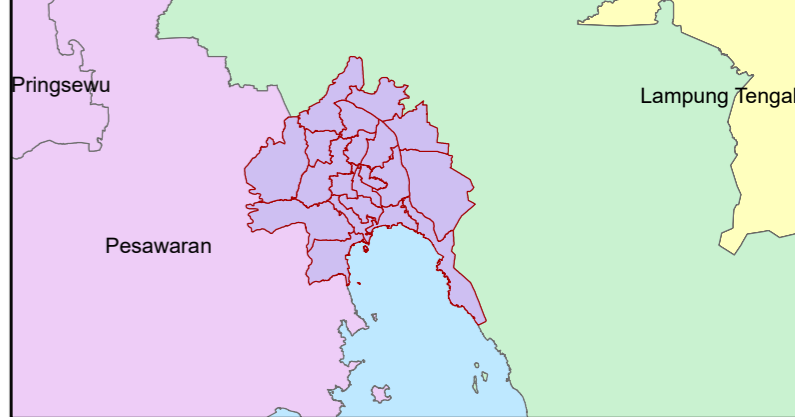
# Peta Ketersediaan Lahan Eksisting Kota Bandar Lampung 2024

**Datum**  
World Geodetic System 1984 (48 S)

**Sumber :**  
1. Peta RBI Kota Bandar Lampung  
2. Peta Citra Landsat 8

**Skala 1:85.000**

0 0,275 0,55 1,1 1,65 2,2 Miles



## Legenda

- Jalan Arteri
- Jalan Kolektor
- Jalan Lain
- Jalan Lokal
- Rel Kereta Api
- Badan Air
- Wilayah Pesisir
- Vegetasi Tinggi
- Vegetasi Rendah
- Infrastruktur
- Permukiman



**DIBUAT OLEH:**  
**RENANDA ANDARI**  
**220051013**  
**MAGISTER PERENCANAAN**  
**WILAYAH DAN KOTA**

Gambar 8. Peta Penggunaan Lahan Eksisting Kota Bandar Lampung tahun 2024

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

#### 1. Perubahan Vegetasi 2014, 2019, 2024 menunjukkan tren penurunan fluktuatif.

- a. Terjadi penurunan kerapatan vegetasi yang cukup signifikan pada periode 2014–2019 di hampir seluruh kecamatan, terutama di wilayah pusat kota, yang dipengaruhi oleh meningkatnya aktivitas pembangunan dan konversi lahan.
- b. Pada periode 2019–2024, perubahan kerapatan vegetasi cenderung melambat dan bersifat fluktuatif, tanpa menunjukkan pemulihan ke kondisi awal tahun 2014, meskipun terdapat peningkatan terbatas di beberapa kecamatan.
- c. Secara spasial, wilayah pusat kota tetap didominasi vegetasi rendah akibat tekanan urbanisasi, sedangkan wilayah pinggiran relatif mampu mempertahankan kerapatan vegetasi yang lebih tinggi dan berperan sebagai area penyangga lingkungan.

#### 2. Lahan terbangun terus meningkat dan mendominasi bagian tengah kota.

- a. Periode 2014–2019 menunjukkan peningkatan signifikan lahan terbangun di hampir seluruh kecamatan, terutama di pusat kota, yang mencerminkan ekspansi dan pemadatan kawasan perkotaan.
- b. Pada periode 2019–2024, pertumbuhan lahan terbangun cenderung melambat dan relatif stabil, meskipun beberapa kecamatan masih menunjukkan intensitas terbangun yang tinggi, sementara sebagian lainnya mengalami penurunan ringan.

- c. Secara spasial, lahan terbangun terkonsentrasi di wilayah pusat dengan aksesibilitas tinggi, sedangkan wilayah pinggiran masih didominasi lahan non-terbangun, menunjukkan pola perkembangan kota yang tidak merata.

### **3. Suhu permukaan tanah meningkat signifikan dan mengikuti pola penurunan vegetasi**

- a. Terjadi peningkatan LST secara konsisten pada periode 2014–2024, dari kisaran  $\pm 27\text{--}29^\circ\text{C}$  pada 2014 menjadi  $>33^\circ\text{C}$  pada 2024, menunjukkan akumulasi panas permukaan yang semakin intens.
- b. Kawasan terbangun padat di pusat kota cenderung memiliki suhu lebih tinggi, dengan peningkatan suhu minimum yang signifikan akibat dominasi permukaan kedap dan aktivitas perkotaan.
- c. Wilayah pinggiran dengan vegetasi lebih luas menunjukkan suhu lebih rendah dan kenaikan yang tidak setajam pusat kota, menegaskan peran vegetasi dalam meredam panas permukaan.

### **4. Regresi linier menunjukkan pengaruh kuat lahan terbangun dan vegetasi terhadap suhu permukaan**

Berdasarkan hasil regresi linier berganda *Ordinary Least Squares* (OLS) tahun 2014, 2019, dan 2024, dapat ditarik tiga kesimpulan utama sebagai berikut.

- a. NDBI menjadi faktor paling dominan dalam menurunkan FCD pada seluruh periode, dengan pengaruh negatif yang semakin kuat dari tahun ke tahun, mencerminkan intensifikasi tekanan urbanisasi.
- b. LST berpengaruh signifikan terhadap FCD pada 2014–2019, namun tidak lagi signifikan pada 2024, sehingga peran faktor termal cenderung melemah.
- c. Secara keseluruhan, pengendali perubahan vegetasi bergeser dari kombinasi faktor lahan dan suhu menjadi dominasi faktor penggunaan lahan, yang menunjukkan bahwa penurunan vegetasi lebih dipengaruhi oleh ekspansi kawasan terbangun.

### **5. *Cellular Automata* menunjukkan kemampuan mitigasi UHI melalui perluasan ruang hijau**

Simulasi CA memperlihatkan bahwa skenario *Urban Greening* mampu memperbaiki kondisi FCD pada tahun proyeksi 2025, 2034, dan 2044. Walaupun tidak mengembalikan FCD ke kondisi 2014, model menunjukkan:

- a. Area sempadan sungai dan tepi jalan merupakan lokasi penghijauan paling responsif.
- b. Pertumbuhan vegetasi terkonsentrasi pada zona yang tidak terbangun, memiliki *slope* rendah, dan berada dalam zona rencana pola ruang hijau.
- c. Simulasi 2025 menunjukkan peningkatan FCD pada permukaan vegetasi sedang. 2034 memperlihatkan perluasan bertahap koridor hijau. 2044 menghasilkan mosaik hijau yang lebih stabil, yang menurut model menurunkan potensi peningkatan LST jangka panjang.

#### **6. Skema Urban Greening Skenario Laju Ekspansi**

Berdasarkan analisis regresi, tren vegetasi, dan kebijakan tata ruang, laju rekomendasi ekspansi adalah kategori moderat, karena mampu menyeimbangkan kebutuhan pembangunan dan keberlanjutan lingkungan.

- a. Tekanan urbanisasi terhadap vegetasi kuat dan konsisten, namun masih dalam kerangka pengendalian tata ruang yang mewajibkan penyediaan RTH.
- b. Pengembangan kota tetap berlangsung, tetapi diarahkan melalui optimalisasi ruang eksisting seperti urban forestry, koridor hijau, dan penghijauan vertikal, bukan ekspansi masif.
- c. Pendekatan moderat dinilai paling realistis karena mendukung pertumbuhan kota secara bertahap sekaligus menjaga keseimbangan ekologis.

## 6.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disarankan beberapa hal sebagai berikut :

1. Pemerintah Kota Bandar Lampung perlu memprioritaskan peningkatan suhu permukaan dalam perencanaan tata ruang, terutama karena penurunan vegetasi 2014, 2019 dan 2024 dan kenaikan suhu hingga 3–6°C di kawasan padat. Penguatan RTH harus difokuskan pada kecamatan dengan penurunan FCD besar seperti Enggal, Tanjungkarang Timur, Panjang, Sukabumi, dan Labuhan Ratu. Pemantauan FCD, NDBI, dan LST perlu dilakukan rutin sebagai dasar pengendalian pembangunan. Insentif penghijauan berbasis komunitas dan pemeliharaan koridor hijau strategis harus ditingkatkan. Pembaruan data geospasial setiap 2–3 tahun akan memperkuat mitigasi iklim jangka panjang kota.
2. Penelitian ini menggunakan FCD sebagai indikator kepadatan vegetasi, namun belum membedakan jenis tutupan hijau (misalnya hutan kota, vegetasi tepi sungai, jalur hijau jalan, atau kawasan *agroforestry*). Penelitian lanjut dianjurkan mengintegrasikan klasifikasi vegetasi berbasis *machine learning* (*Random Forest* atau SVM) untuk melihat perbedaan efektivitas setiap jenis vegetasi dalam menurunkan suhu permukaan.
3. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kawasan prioritas penghijauan berada pada kecamatan dengan penurunan FCD paling signifikan. Penelitian berikutnya perlu menggabungkan aspek social seperti persepsi masyarakat, partisipasi komunitas, dan kesiapan institusi—untuk memastikan bahwa intervensi ruang hijau tidak hanya efektif secara ekologis, tetapi juga dapat diterima dan diimplementasikan secara nyata di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aldiansyah, Septianto . 2023. "Analisis Spasio-Temporal Fenomena Urban Heat Island dan Hubungannya Terhadap Aspek Fisik Di Kota Makassar (1993-2021)." *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca* 24: 1-11.
- Andini, Siska Wahyu, Yudo Prasetyo, and Abdi Sukmono. 2018. "Analysis of Vegetation Distribution Using Sentinel Satellite Imagery with NDVI and Segmentation Methods (Case Study: Demak Regency)." *Jurnal Geodesi Undip* (Diponegoro University) 14-24.
- Arifin. 2021. *Pemetaan UHI dan vegetasi di Bandar Lampung (Landsat 2016–2020)*. Bandar Lampung: Repo ITERA.
- Arifin, Sri Sutarni , Baharuddin Hamzah, Rosady Mulyadi, and Abd. Rachman Rasyid. 2022. "Pengaruh Vegetasi terhadap Pulau Panas Perkotaan Menggunakan Citra Landsat 8 OLI/TIRS di Daerah Tropis Iklim Perkotaan." *Teknik Sipil dan Arsitektur* 395-405.
- Aswin, Ario Damar, and Gatot Yulianto. 2021. "VEGETATION CONDITIONS AND THE CHANGING OF MANGROVE ECOSYSTEM COVER IN TANAKEKE ISLAND TAKALAR REGENCY SOUTH SULAWESI PROVINCE." *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* (Bogor Agricultural Institute or IPB University) 305-318.  
doi:<https://doi.org/10.29244/jitkt.v13i2.33633> .
- Calvache, David Andrés , Angie Navarro C, and Álvaro Ceballos F. 2019. "Analysis of vegetation cover area as an urban environmental quality factor." *Revista de Ciencias Agrícolas* 95-107.
- Congalton, R G. 1991. "A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data." *Remote Sensing of Environment* 35–46.
- Darlina, Seprila Putri , Bandi Sasmito, and Bambang Darmo Yuwono. 2018. "ANALISIS FENOMENA URBAN HEAT ISLAND SERTA MITIGASINYA (STUDI KASUS : KOTA SEMARANG)." *Jurnal Geodesi Undip* (Undip) 77-87.

- Foody, G M. 2002. "Status of land cover classification accuracy assessment." *Remote Sensing of Environment* 185–201.
- Gharaibeh, Anne , Abdulrazzaq Shaamala, Rasha Obeidat, and Salman Al-Kofahi. 2020. "Improving land-use change modeling by integrating ANN with Cellular Automata-Markov Chain model." *Heliyon* 6 1-18.
- Ghozali, Imam. 2018. *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS* 25. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Handayani, Mutiah Nurul, Bandi Sasmito, and Arwan Putra. 2017. "ANALISIS HUBUNGAN ANTARA PERUBAHAN SUHU DENGAN INDEKS KAWASAN TERBANGUN MENGGUNAKAN CITRA LANDSAT(STUDI KASUS : KOTA SURAKARTA)." *Jurnal Geodesi Undip* 208-218.
- Hendrawan, and Prasetyo. 2020. "Sebaran Lahan Terbangun Berdasarkan Normalized Difference Built-up Index Citra Landsat 8 di Kota Berdasarkan Normalized Difference Built-up Index Citra Landsat 8 di Kota." *Jurnal Sainstech Innovation* 35-40.
- Hidayati, Iswari Nur , R. Suharyadi, and Projo Danoedoro. 2018. "Kombinasi Indeks Citra untuk Analisis Lahan Terbangun dan Vegetasi Perkotaan." *Majalah Geografi Indonesia (UGM)* 32: 24-32.
- Jensen, J R. 2007. *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. Chicago: Upper Saddle River.
- Kapoh, Metusael Kenspasio Oktovio, and Samuel Frederik Papilaya. 2021. "Analysis of Vegetation Changes in Tingkir District, Salatiga City Using the NDVI Method." *Journal of Computer and Information Systems Ampera (Kristen Satya Wacana University)* 2: 143-140.
- Kaufman, Leonard , and Peter J Rousseeuw. 2005. *Finding Groups in Data An Introduction to Cluster Analysis*. USA: Wiley dan Sons Ltd.
- Kurniawan, M, Nia Kurniadin, Hasanudin, and Shabri Indra Suryalfihra. 2024. "Utilization of Sentinel-2 Imagery for Analyzing Vegetation Density Changes in Palaran District from 2019 to 2021." *Journal of Geomatics Engineering, Technology, and Science (Politeknik Pertanian Negeri Samarinda)* 60-64. doi:<https://doi.org/10.51967/gets.v2i2.38>.

- Kusumasindy, R, and S. Rahayu. 2022. "Implications of Changes in Building Density and Vegetation Density on Green Open Spaces (RTH) in Tangerang City." *TEKNIK PWK* (Universitas Diponegoro) 53-63.
- Lahay, Rakhmat Jaya, and Syahrizal Koem. 2022. "Extraction of Vegetation Cover Changes in Gorontalo Regency Using Google Earth Engine." *Jambura Geoscience Review* (Gorontalo State University) 4: 11-21.
- Lampung, Badan Pusat Statistik Kota Bandar. 2024, 2019, 2014. *Kota Bandar Lampung Dalam Angka* . Bandar Lampung: Badan Pusat Statistik Kota Bandar Lampung.
- Lampung, Pemerintah Kota Bandar. 2021. *PERATURAN DAERAH KOTA BANDAR LAMPUNG NOMOR 4 TAHUN 2021 TENTANG RENCANA TATA RUANG WILAYAH TAHUN 2021-2041*. Bandar Lampung: WALIKOTA BANDAR LAMPUNG .
- Li, Kongming , Mingming Feng, Haohai Su, and Yalin Niu. 2020. "Driving Factors and Future Prediction of Land Use and Cover Change Based on Satellite Remote Sensing Data by the LCM Model: A Case Study from Gansu Province, China." *Sensors* 1-20.
- LI, XIA, and ANTHONY GAR-ON YEH. 2002. "Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS." *int. j. geographical information science* 323 343.
- Lillesand, Thomas M, and R W Kiefer. 2004. *Remote Sensing and Image Interpretation*. New Jersey: John Wiley dan Sons, Inc.
- Liu, Chao , Siyu Lu, and Jiawei Tian. 2024. "Research Overview on Urban Heat Islands Driven by Computational Intelligence." *Land* 1-26.
- Malhi, Yadvinder , J. Timmons Roberts, and Richard A. Betts. 2008. "Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon ." *Scienceexpress* 1-9.
- Musyafa, Adilla , Astri Indriyani, Keylila Hanan Zhafrani, Riki Ridwana, and Lili Somantri. 2022. "Utilization of Sentinel Imagery for Mapping Vegetation Density Changes in Jambudipa Village, Cisarua District." *GEOGRAPHIA* (Indonesia University of Education) 108-114.
- Naila , Fardiah Qonita Umami . 2023. "Analysis of the Impact of Changes in Vegetation Density Index and Land Cover on Surface Temperature

- Increase in Batu City." *JURNAL PANGRIPTA* (Institut Teknologi Nasional, Malang) 1116-1125. doi:<https://doi.org/10.58411/pangripta.v6i1.123>.
- Pramudito, Wisnu Adjie, and Jusup Suprijanto. 2020. "Changes in Mangrove Vegetation Area in Bedono Village, Sayung District, Demak Regency in 2009 and 2019 Using Landsat Satellite Imagery." *Journal of Marine Research* (Diponegoro University) 9: 131-136.
- Pramudiyasari, Tia , Mangapul P. Tambunan, and Manessa D.M. Masita . 2021. "ANALISIS LST, NDVI MENGGUNAKAN SATELIT LANDSAT 8 SERTA TREND SUHU UDARA DI KABUPATEN MAJALENGKA." *Jurnal Geosaintek* 119-124.
- Pratiwi , Arik Yumna , and Lalu Muhamad Jaelani. 2020. "Analisis Perubahan Distribusi Urban Heat Island (UHI) di Kota Surabaya Menggunakan Citra Satelit Landsat Multitemporal." *JURNAL TEKNIK ITS* (Institut Teknologi Sepuluh Nopember ) 48-55.
- Putra, Bayu Wisnu, and Djurdjani. 2020. "Analysis the Effect of Vegetation Density Changes on Surface Temperature due to Mining Activities Using Multitemporal Satellite Imagery (Case Study: PT. Amman Mineral Nusa Tenggara)." *Journal of Geospatial Information Science and Engineering* (Gajah Mada University) 7-19. doi:<https://doi.org/10.22146/jgise.54217>.
- Ramdhani, Muhammad Husni , Fajriyanto, and Rahma Anisa. 2024. "ANALISIS SPASIAL TINGKAT KEKRITISAN LAHAN PADA DAERAH RESAPAN AIR MENGGUNAKAN TEKNOLOGI GEOSPASIAL (Studi Kasus: Kecamatan Kemiling, Kota Bandar Lampung)." *JURNAL ILMIAH TEKNO GLOBAL* 34-43.
- Rikimaru, A, P S Roy, and Dehradun. 2002. "Tropical forest cover density mapping." *Tropical Ecology* 39-47.
- Riswa, E. 2009. *Evaluasi Akurasi Klasifikasi Penutupan Lahan Menggunakan Citra ALOS PALSAR Resolusi Rendah: Studi Kasus di Pulau Kalimantan*. Bogor: Departemen/Program Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Rosleine, Dian , and Muhammad Irfan. 2018. "Land Cover Change and *Land Surface Temperature* (LST) in North Bandung Area (NBA) from 2010-

- 2018 ." *3BIO: Journal of Biological Science, Technology and Management* 3 51-59.
- Seletkovi', Ante , Martina' Ki'ci, and Mario An'ci'c. 2023. "The Urban Heat Island Analysis for the City of Zagreb in the Period 2013–2022 Utilizing Landsat 8 Satellite Imagery." *Sustainability* 1-13.
- Setiawan, Achmad Bagus, Johannes Parlindungan Siregar, and Abdul Wahid Hasyim. 2024. "PENGARUH TUTUPAN LAHAN TERHADAP SUHU PERMUKAAN DI KABUPATEN GRESIK." *Planning for Urban Region and Environment Journal* 223-232.
- Seto, K C, B Güneralp, and L R Hutyrá. 2012. "Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 16083–16088.
- Sugiyono. 2013. *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif dan RdnD*. Jakarta : Alfabeta.
- Sukmono, Abdi , Ardyán Satria Putra Pratama, and L.M. Sabr. 2020. "Analysis of Vegetation Density Changes in the Blorong Watershed Using the *Forest Canopy Density* (FCD) Method from Landsat 8 Imagery." *ELIPSOIDA* (Diponegoro University) 92-97.
- Sukojo, Bangun Muljo, and Naufal Shidqi Hauzan . 2023. "Analisis Perubahan Indeks Kekritisán Lingkungan Dengan Algoritma Environmental Criticality Index Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 OLI/TIRS (Studi Kasus : Kota Bandung)." *Journal Geoid* (ITS) 311-325.
- Sutiyoso, Bambang Utoyo. 2015. "THE CITY UTILIZATION MANAGEMENT CASE STUDY OF LAND USE DYNAMICS AND ECONOMIC GROWTH IN BANDAR LAMPUNG CITY." *Jurnal Administrasi Publik* 153-170.
- Trinufi, Rahmat Nanda, and Sri Rahayu. 2020. "Analysis of Vegetation and Building Density Changes in the Banda Aceh City Post-Tsunami Disaster." *Ruang* (Diponegoro University) 28-37.
- Voogt, James A, and Timothy R Oke. 2003. "Thermal remote sensing of urban climates." *Remote Sensing of Environment* 1-12.

- Wibisono, Prasetyo , Nur Miladan, and Rizon Pamardhi Utomo. 2023. "Relation of Changes in Vegetation and Building Density to Surface Temperature: The Case of Urban Agglomeration of Surakarta." *Desa-Kota* (Sebelas Maret University) 148-162. <http://jurnal.uns.ac.id/jdk> .
- Xu, H. 2008. "A new index for delineating built-up land features in satellite imagery." *International Journal of Remote Sensing* 269–4276.
- YUSUF, RACHMIWATI, USMAN M TANG, and RAHMAN KARNILA. 2020. "Ecological sustainability of rice farms in Siak District, Riau, Indonesia." *B I O D I V E R S I T A S* 3438-3446.
- Zenouzi, Shahin Alizadeh, Komali Yenneti, Raziye Teimouri, Fatemeh Abbasiyan, and Massimo Palme. 2022. "Analysis of Changes in Vegetation Index during the Rapid Urban Spatial Development Period (1990–2020) in Tehran Metropolis, Iran." *Atmosphere* 1-18.
- Zhao, M, and S W Running. 2010. "Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009." *Science* 940-943.