



Analisis Hubungan *Urban Heat Island (UHI)*, Tutupan Lahan dan Kawasan Terbangun Berbasis Penginderaan Jauh di Kota Semarang

Galih Oktaviano^{1*}, Yahya Darmawan², Nuzula Elfa Rahma³, Rizky Franchitika⁴

^{1,2}Program Studi Klimatologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Kota Tangerang, Indonesia

³Program Studi Pengelolaan Lingkungan, Jurusan Lingkungan dan Kehutanan, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Indonesia

⁴Program Studi Diploma 3 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan, Medan, Indonesia

*Email Koresponden: yahya.darmawan@bmk.go.id

Diterima: 15-12-2025, Revisi: 02-09-2026, Disetujui: 08-09-2026

©2026 Universitas Hamzanwadi

Abstrak. Urbanisasi yang pesat di Kota Semarang mengakibatkan perubahan signifikan pada tutupan lahan dan meningkatkan suhu permukaan yang memicu intensifikasi fenomena *urban heat island*. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi hubungan antara indeks vegetasi, indeks kawasan terbangun, dan suhu permukaan secara spasial-temporal pada tahun 1990, 1997, dan 2009. Data diperoleh dari citra Landsat 5 yang diolah untuk menghasilkan peta vegetasi, peta kawasan terbangun, dan peta suhu permukaan, kemudian dianalisis menggunakan korelasi Pearson dan regresi linear. Hasil menunjukkan penurunan luas vegetasi berkepadatan sedang dan tinggi, disertai peningkatan pesat kawasan terbangun serta munculnya rentang suhu ekstrem mencapai 35–40 °C pada tahun 2009. Analisis mengungkap hubungan negatif antara tutupan vegetasi dan suhu permukaan, serta hubungan positif antara kawasan terbangun dan suhu permukaan. Regresi menunjukkan kawasan terbangun berpengaruh signifikan terhadap variasi suhu, sedangkan vegetasi tidak. Temuan ini menegaskan bahwa konversi lahan hijau menjadi kawasan terbangun merupakan pendorong utama peningkatan suhu permukaan dan menjadi dasar penting dalam perumusan strategi mitigasi melalui perlindungan vegetasi dan penguatan ruang terbuka hijau.

Kata kunci: Kota Semarang, penginderaan jauh, pulau panas urban, suhu permukaan lahan

Abstract. Rapid urbanization in Semarang City has led to significant changes in land cover and increased surface temperatures, intensifying the urban heat island phenomenon. This study aims to evaluate the spatial-temporal relationship between vegetation indices, built-up area indices, and surface temperature in 1990, 1997, and 2009. Data were obtained from Landsat 5 images processed to produce vegetation maps, built-up area maps, and surface temperature maps, which were then analyzed using Pearson correlation and linear regression. The results show a decrease in medium and high-density vegetation cover, accompanied by a rapid increase in built-up areas and the emergence of extreme temperature ranges reaching 35–40 °C in 2009. Analysis reveals a negative relationship between vegetation cover and surface temperature, and a positive relationship between built-up areas and surface temperature. Regression analysis shows that built-up areas significantly influence temperature variation, while vegetation does not. This finding confirms that the conversion of green space into built-up areas is a major driver of increased surface temperature and serves as an important basis for formulating mitigation strategies through vegetation protection and the strengthening of green open spaces.

Keywords: Semarang City, remote sensing, urban heat island, land surface temperature

PENDAHULUAN

Laju urbanisasi yang cepat membawa tantangan lingkungan serius bagi kawasan perkotaan, terutama di negara berkembang seperti Indonesia. Salah satu dampaknya adalah fenomena *Urban Heat Island (UHI)*, yaitu kondisi ketika suhu permukaan di area perkotaan lebih tinggi dibandingkan daerah pedesaan di sekitarnya (Koomen & Diogo, 2017). Fenomena ini terbentuk ketika ruang terbuka hijau tergerus dan digantikan permukaan kedap air yang menyerap serta menyimpan panas berlebih (de Almeida et al., 2021). Konsekuensinya berantai, mulai dari menurunnya kenyamanan termal, meningkatnya konsumsi energi pendingin, hingga memburuknya kualitas udara (Mukhlis et al., 2022). Di

Indonesia, pola tersebut terdokumentasi di berbagai kota, di mana ekspansi kawasan terbangun konsisten diikuti kenaikan suhu permukaan (Agusman et al., 2025; Gandri, 2022).

Land Surface Temperature (LST) merupakan parameter kunci untuk memahami dinamika termal perkotaan sekaligus dasar perumusan strategi mitigasi UHI (Ridha, 2025). Perubahan LST dipengaruhi karakteristik penutup lahan yang dapat dievaluasi melalui penginderaan jauh menggunakan Indeks Vegetasi (NDVI) dan Indeks Kawasan Terbangun (NDBI) (Aslan & Koc-San, 2021). Wilayah dengan NDVI rendah cenderung memiliki LST tinggi akibat berkurangnya evapotranspirasi sebagai mekanisme pendinginan alami (Sidiq, 2026). Sebaliknya, NDBI tinggi menunjukkan dominasi permukaan keras dengan kapasitas serap panas besar sehingga mendorong kenaikan suhu (Nusriah et al., 2026). Kombinasi ketiganya menjadikan relasi NDVI-NDBI-LST sebagai kerangka analisis yang relevan dalam kajian UHI multitemporal (Glowienka & Micek, 2025).

Sejumlah penelitian terkini telah memanfaatkan kerangka multi-indeks tersebut. Glowienka & Micek (2025) menilai iklim mikro perkotaan Krakow secara multitemporal selama dua dekade dengan mengintegrasikan LST, NDVI, dan NDBI. Aslan & Koc-San (2021) menunjukkan indeks tutupan lahan dapat mendeteksi UHI permukaan secara cepat dari citra Landsat multi-temporal, sementara Kabano et al. (2021) membuktikan pengaruh UHI terhadap dinamika vegetasi di kota tropis. Pada konteks Indonesia, Nusriah et al. (2026) mengkaji dinamika spasio-temporal NDVI, NDBI, dan LST di Kabupaten Maros, sedangkan Sari et al. (2026) menghubungkan perubahan tutupan lahan dan kerapatan bangunan dengan UHI di Kota Pekanbaru. Temuan tersebut menegaskan bahwa pengamatan satu indikator tunggal tidak memadai untuk menjelaskan kompleksitas pembentukan UHI.

Meskipun demikian, sebagian besar kajian tersebut berhenti pada deskripsi pola spasial dan belum mengukur secara statistik kontribusi relatif setiap indeks terhadap variasi suhu permukaan. Pada konteks Kota Semarang, kajian terdahulu juga masih terbatas, yaitu Ayuni et al. (2023) yang menyoroti pengaruh perubahan tutupan lahan dan kerapatan vegetasi terhadap UHI, serta Suparta (2024) yang memetakan UHI hanya pada cakupan Kecamatan Semarang Barat. Kedua kajian tersebut belum menelusuri periode 1990-2009, yaitu fase transisi ketika Semarang bergerak dari kota menengah menuju metropolitan dan tekanan konversi lahan berlangsung paling intensif. Sejauh penelusuran penulis, belum terdapat penelitian yang mengintegrasikan analisis multitemporal tiga titik waktu dengan uji korelasi Pearson dan regresi linear untuk menguji secara simultan kontribusi NDVI dan NDBI terhadap LST di Kota Semarang. Kebaruan penelitian ini terletak pada kuantifikasi statistik tersebut, yang memungkinkan penilaian variabel mana yang secara nyata mengendalikan kenaikan suhu permukaan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan perubahan NDVI dan NDBI terhadap dinamika LST di Kota Semarang periode 1990-2009 menggunakan citra Landsat 5 TM. Secara khusus, penelitian ini menganalisis pola perubahan spasial-temporal NDVI, NDBI, dan LST pada tahun 1990, 1997, dan 2009. Penelitian ini juga menguji kekuatan hubungan antarvariabel melalui korelasi Pearson serta mengukur besaran pengaruhnya melalui regresi linear. Hasilnya digunakan untuk mengidentifikasi zona prioritas mitigasi UHI berdasarkan sebaran suhu permukaan dan kondisi tutupan lahan. Secara teoretis penelitian ini berkontribusi pada pengembangan model kuantitatif relasi NDVI-NDBI-LST di kawasan tropis Indonesia, sekaligus menjadi acuan perencanaan tata ruang berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Deskripsi Data

Tabel 1. Informasi Citra Landsat yang Digunakan

No	Tahun	Citra Satelit	Perekaman	Band
1	1990	Landsat 5 TM C2 L2	28 Agustus 1990	3,4 dan 5
2	1990	Landsat 5 TM C2 L1	28 Agustus 1990	6
3	1997	Landsat 5 TM C2 L2	15 Agustus 1997	3,4 dan 5
4	1997	Landsat 5 TM C2 L1	15 Agustus 1997	6
5	2009	Landsat 5 TM C2 L2	19 Oktober 2009	3,4 dan 5
6	2009	Landsat 5 TM C2 L1	19 Oktober 2009	6

Sumber: Rancangan Peneliti, 2025.

Band multispektral (1–5 dan 7) pada Landsat 5 TM memiliki resolusi spasial 30 meter, sedangkan band termal (Band 6) memiliki resolusi asli 120 meter yang telah dire-sampling menjadi 30 meter oleh USGS. Seluruh citra yang digunakan dalam penelitian ini memiliki tutupan awan di bawah 9%, sehingga memenuhi kriteria kelayakan untuk analisis spasial-temporal jangka panjang. Tahapan pra-pengolahan mencakup pemotongan area studi, perhitungan indeks vegetasi (NDVI) dan indeks kawasan terbangun (NDBI), serta estimasi suhu permukaan (LST) menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.8.

Tahun 1990, 1997, dan 2009 dipilih karena menyediakan citra Landsat 5 TM dengan tutupan awan rendah dan kualitas radiometrik stabil, sehingga sesuai untuk analisis multi-temporal. Penggunaan citra dari sensor yang sama memastikan konsistensi karakteristik spektral dan spasial, sehingga hasil perhitungan NDVI, NDBI, dan LST dapat dibandingkan tanpa bias antar-sensor. Ketersediaan citra bebas awan juga memungkinkan wilayah studi terekam utuh sehingga klasifikasi tidak terganggu area tanpa data.

Perhitungan NDVI dan NDBI

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) digunakan untuk mengidentifikasi tutupan vegetasi berdasarkan perbedaan pantulan spektral antara band inframerah-dekat (NIR) dan merah (RED). NDVI dihitung dengan rumus:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Pada citra Landsat 5 TM, band 4 digunakan sebagai NIR dan band 3 sebagai RED. Nilai NDVI berkisar dari -1 hingga +1, di mana nilai mendekati +1 menunjukkan vegetasi lebat, sedangkan nilai mendekati -1 menunjukkan permukaan non-vegetatif seperti badan air atau area terbangun. Sebaliknya, Indeks Terbangun Berdiferensiasi Normal (*Normalized Difference Built-up Index*/NDBI) dikembangkan untuk mengidentifikasi dan memetakan permukaan terbangun. NDBI dihitung dengan rumus

$$NDBI = \frac{MIR - NIR}{MIR + NIR}$$

Band 5 (MIR) dan band 4 (NIR) dari Landsat 5 digunakan dalam perhitungan ini. Nilai positif menunjukkan kawasan terbangun, sementara nilai negatif mengindikasikan area vegetatif atau badan air. Rentang nilai NDBI berkisar antara -1 hingga +1, sehingga sebaran nilainya dapat langsung dipetakan untuk menggambarkan intensitas perkembangan kawasan terbangun di wilayah studi.

Estimasi Suhu Permukaan Lahan (LST)

Estimasi suhu permukaan lahan (*Land Surface Temperature*/LST) menggunakan citra satelit Landsat 5 TM dilakukan melalui beberapa tahapan utama sebagai berikut:

1) Konversi DN menjadi TOA Radiance

Langkah pertama adalah mengubah nilai *Digital Number* (DN) pada kanal termal menjadi nilai Radiansi Spektral Puncak Atmosfer (*Top of Atmosphere*/TOA Radiance) menggunakan persamaan kalibrasi radiometrik linier:

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

Keterangan:

- L_{λ} = TOA Radiance ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$)
- M_L = Radiance Multiplicative Scaling Factor
- Q_{cal} = *Digital Number*
- A_L = Radiance Additive Scaling Factor

2) Konversi TOA Radiance menjadi *Brightness Temperature* (BT)

TOA Radiance dikonversi menjadi suhu kecerahan (*Brightness Temperature*) dalam satuan Kelvin dengan rumus Planck terbalik berikut:

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

Keterangan:

- B_T = *Brightness Temperature* (Kelvin)
- K_1, K_2 = Konstanta kalibrasi termal dari metadata
- L_λ = TOA Radiance

(Avdan & Jovanovska, 2016; Auntarin et al., 2021).

3) Perhitungan NDVI

Langkah berikutnya adalah menghitung indeks vegetasi (NDVI) dengan memanfaatkan kanal NIR dan Red. Nilai NDVI digunakan untuk menggambarkan tingkat kerapatan vegetasi di permukaan. Nilai NDVI selanjutnya menjadi masukan dalam perhitungan proporsi vegetasi yang diperlukan untuk mengestimasi emisivitas permukaan.

4) Perhitungan Proporsi Vegetasi (PV)

NDVI digunakan untuk menghitung proporsi vegetasi (PV) dengan rumus:

$$PV = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2$$

$NDVI_{max}$ dan $NDVI_{min}$ diambil dari nilai minimum dan maksimum NDVI area studi

5) Estimasi Emisivitas Permukaan (ϵ)

Nilai PV digunakan untuk menghitung emisivitas permukaan menggunakan pendekatan linier berbobot sebagai berikut:

$$\epsilon = \epsilon_v \cdot PV + \epsilon_s \cdot (1 - PV)$$

dengan asumsi ϵ_v (emisivitas vegetasi murni) sebesar 0,99 dan ϵ_s (emisivitas tanah terbuka) sebesar 0,97 (Nurgiantoro & Aris, 2022; Bobáľová & Opravil, 2026).

6) Estimasi *Land Surface Temperature* (LST)

Brightness Temperature kemudian dikoreksi terhadap emisivitas permukaan untuk memperoleh suhu permukaan aktual (LST) dalam derajat Celsius:

$$LST(^{\circ}C) = \frac{B_T}{1 + \left(\frac{\lambda \cdot T_B}{\alpha} \right) \cdot \ln \ln (\epsilon)} - 273.15$$

Keterangan:

- λ = panjang gelombang efektif (11,5 μ m untuk Band 6 TM dan 10,8 μ m untuk Band 10 TIRS)
- $\alpha = 1.438 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$
- ϵ = emisivitas permukaan
- B_T = *Brightness Temperature*

(Avdan & Jovanovska, 2016). Prosedur retrieval LST berbasis Landsat serupa juga diterapkan dalam kajian terkini (Auntarin et al., 2021).

Analisis Statistik

Hubungan antara suhu permukaan dan tutupan lahan dianalisis menggunakan korelasi Pearson dan regresi linear antara nilai NDVI, NDBI, dan LST pada ketiga tahun pengamatan. Korelasi Pearson

mengukur kekuatan dan arah hubungan linear antarvariabel, sedangkan regresi linear mengevaluasi besarnya pengaruh NDVI dan NDBI terhadap LST sebagai variabel dependen. Kedua analisis dijalankan pada masing-masing tahun sehingga perubahan kekuatan hubungan antarwaktu dapat ditelusuri.

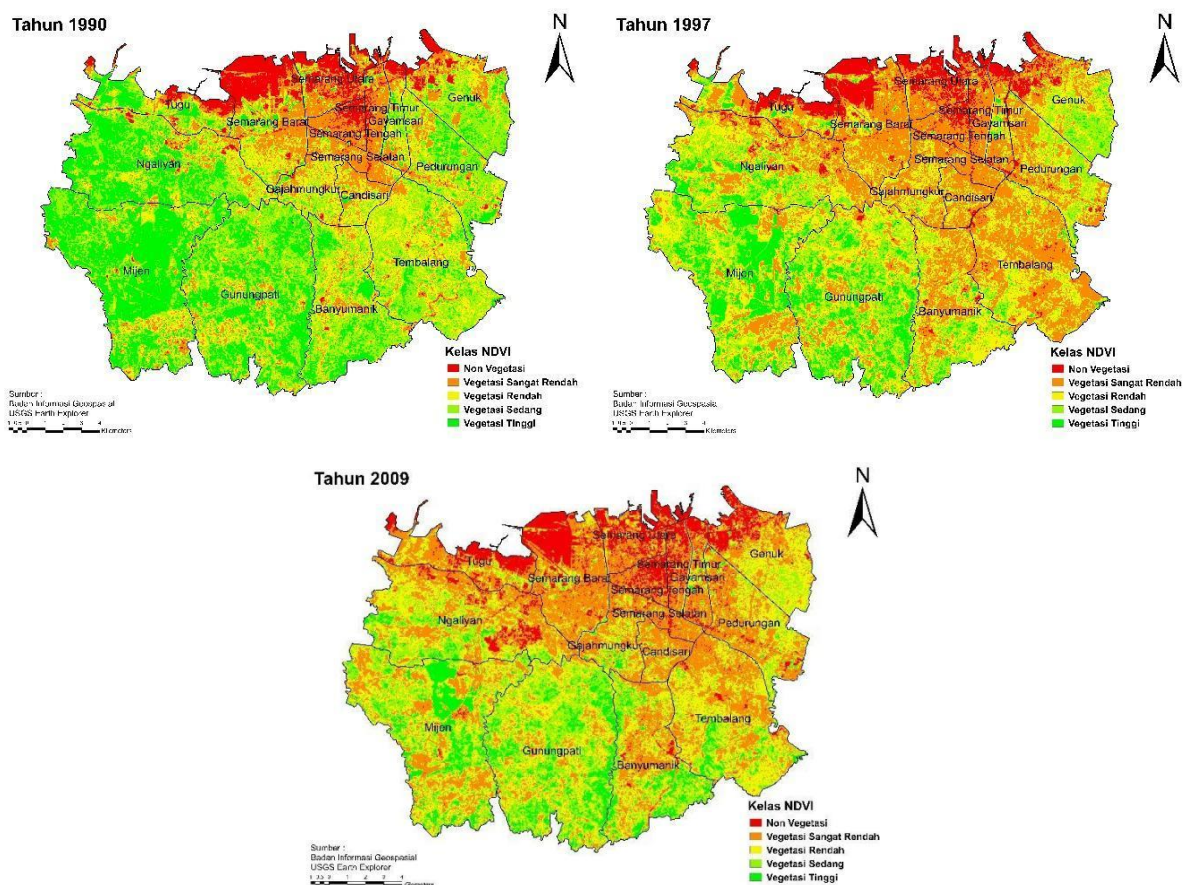
Pendekatan ini dipilih karena mampu mengidentifikasi keterkaitan langsung antara indeks vegetasi dan kedekatan lahan dengan perubahan suhu permukaan secara kuantitatif. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak R agar perhitungan pada jumlah piksel yang besar dapat dilakukan secara konsisten dan direplikasi. Hasilnya disajikan dalam bentuk tabel statistik dan grafik untuk memperkuat interpretasi spasial-temporal.

TEMUAN DAN PEMBAHASAN

Analisis Perubahan Indeks NDVI

Analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dilakukan pada tiga citra Landsat dari tahun 1990, 1997, dan 2009 untuk mengidentifikasi dinamika kerapatan vegetasi di kawasan studi. Masing-masing peta NDVI diklasifikasikan ke dalam lima kategori kerapatan vegetasi, yaitu: non vegetasi, vegetasi sangat rendah, vegetasi rendah, vegetasi sedang, dan vegetasi tinggi. Klasifikasi tersebut bertujuan menyederhanakan sebaran nilai NDVI yang bersifat kontinu menjadi kelas-kelas yang lebih mudah diinterpretasi secara spasial.

Klasifikasi dilakukan dengan metode *Natural Breaks* (Jenks) yang membagi nilai NDVI berdasarkan pola distribusi alamnya. Nilai batas kelas hasil klasifikasi tahun 1990 digunakan sebagai referensi tetap untuk tahun 1997 dan 2009. Penetapan batas yang seragam ini penting agar perbedaan luas antarkelas mencerminkan perubahan kondisi vegetasi, bukan pergeseran ambang klasifikasi, sekaligus menghindari bias akibat perbedaan kondisi atmosfer, sensor, atau musim perekaman.



Gambar 1. NDVI Kota Semarang Tahun 1990, 1997, dan 2009
(Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2025)

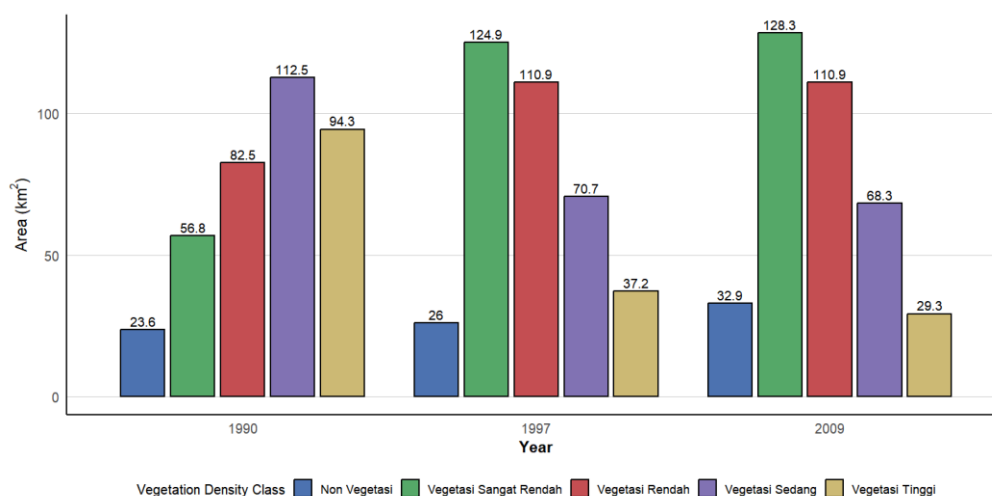
Dari ketiga peta NDVI, nilai minimum tercatat -0,3446 dan maksimum 0,5312. Rentang ini mencerminkan variasi reflektansi, mulai dari permukaan tanpa vegetasi seperti bangunan, aspal, atau perairan (nilai negatif) hingga area bervegetasi lebat seperti hutan dan lahan pertanian subur (nilai positif). Sebaran nilai tersebut menjadi indikator dalam mengidentifikasi area yang mengalami degradasi vegetasi akibat urbanisasi. Perubahan luas masing-masing kelas kerapatan vegetasi disajikan pada **Tabel 2**, yang menjadi dasar interpretasi tren vegetasi selama periode pengamatan.

Tabel 2. Perubahan Luas Kerapatan Vegetasi

Klasifikasi	1990		1997		2009	
	Luas (km ²)	Luas (%)	Luas (km ²)	Luas (%)	Luas (km ²)	Luas (%)
Non Vegetasi	23.6	6.38	25.97	7	32.94	8.9
Vegetasi Sangat Rendah	56.8	15.36	124.94	33.79	128.3	34.7
Vegetasi Rendah	82.5	22.31	110.92	30	110.89	30
Vegetasi Sedang	112.5	30.43	70.67	19.11	68.31	18.47
Vegetasi Tinggi	94.3	25.51	37.23	10	29.27	7.91

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2025.

Berdasarkan **Tabel 2**, distribusi kerapatan vegetasi berubah signifikan sepanjang 1990-2009. Vegetasi tinggi menurun drastis dari 94,3 km² (25,51%) menjadi 29,27 km² (7,91%), dan vegetasi sedang menurun dari 112,5 km² (30,43%) menjadi 68,31 km² (18,47%). Sebaliknya, vegetasi sangat rendah meningkat dari 56,8 km² (15,36%) menjadi 128,3 km² (34,7%), sementara non-vegetasi naik dari 23,6 km² (6,38%) menjadi 32,94 km² (8,9%). Tren ini mengindikasikan tekanan alih fungsi lahan yang signifikan dalam kurun hampir dua dekade, sebagaimana diilustrasikan pada **Gambar 2**.

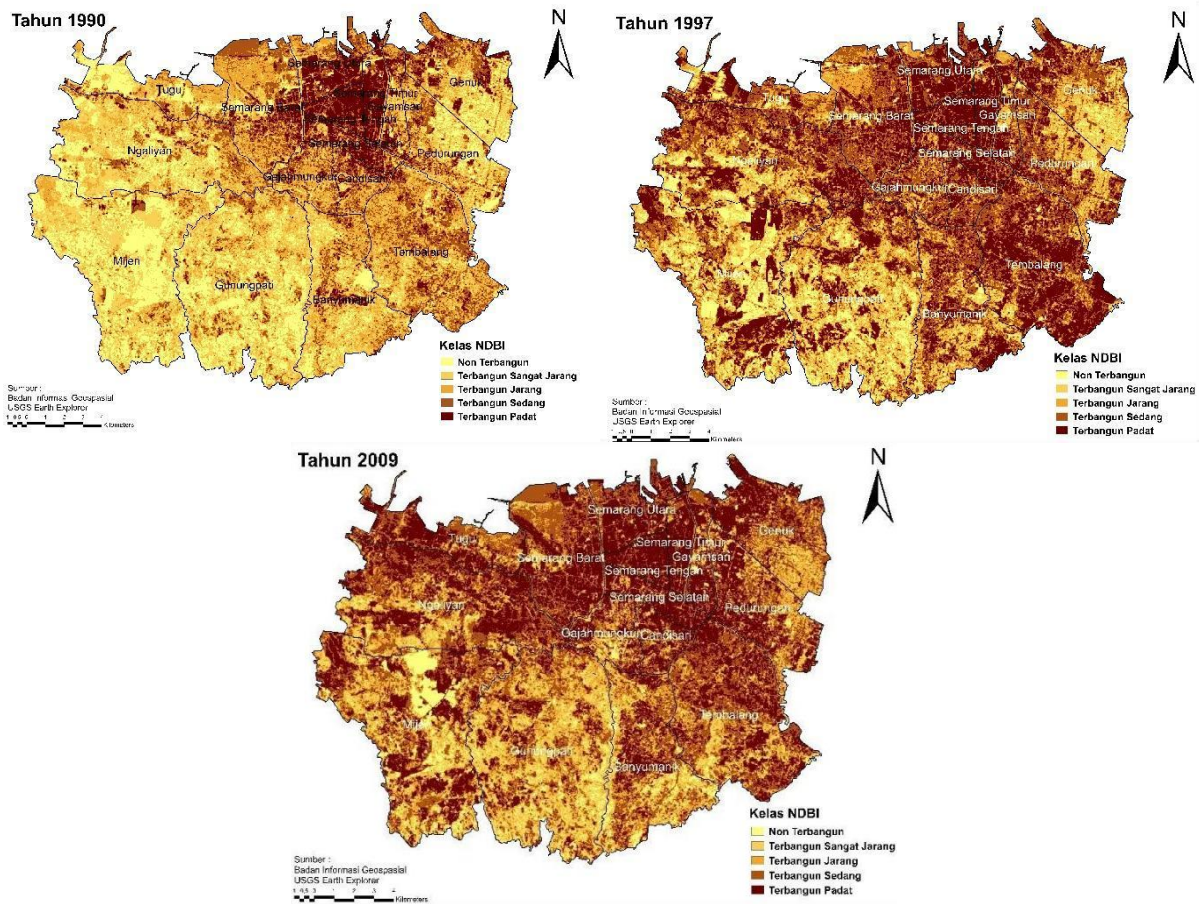


Gambar 2. Grafik Perubahan Kerapatan Vegetasi
(Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2025)

Analisis Perubahan Indeks NDBI

Nilai NDBI dari citra Landsat tahun 1990, 1997, dan 2009 dianalisis untuk mengevaluasi perubahan intensitas dan persebaran kawasan terbangun di Kota Semarang. Ketiga peta NDBI diklasifikasikan ke dalam lima kategori, yaitu non-terbangun, terbangun sangat jarang, terbangun jarang, terbangun sedang, dan terbangun padat. Klasifikasi menggunakan metode *Natural Breaks* (Jenks) dengan ambang batas yang ditetapkan dari distribusi NDBI tahun 1990 dan diterapkan konsisten pada tahun 1997 dan 2009 guna menjamin keseragaman analisis spasial-temporal.

Nilai NDBI ketiga tahun berkisar antara -0,3955 hingga 0,6903. Nilai positif menunjukkan dominasi permukaan kedap air seperti bangunan permanen dan jalan raya, dan semakin tinggi nilainya semakin padat kawasan terbangun. Sebaliknya, nilai negatif atau rendah mengindikasikan tutupan lahan alami seperti vegetasi, badan air, atau lahan terbuka.



Gambar 3. NDBI Kota Semarang Tahun 1990, 1997, dan 2009
(Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2025)

Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa selama periode 1990 hingga 2009 terjadi peningkatan signifikan pada kelas terbangun sedang hingga padat, terutama di wilayah pusat kota dan sepanjang koridor utama perkotaan seperti jalur Pantura dan kawasan barat daya. Wilayah yang sebelumnya masuk dalam kategori non-terbangun atau terbangun sangat jarang mengalami pergeseran kelas ke arah kerapatan yang lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan intensifikasi urbanisasi dan ekspansi permukiman, sejalan dengan pertumbuhan penduduk dan konversi lahan yang berlangsung secara bertahap. Perubahan luas kerapatan bangunan dapat dilihat pada **Tabel 3**.

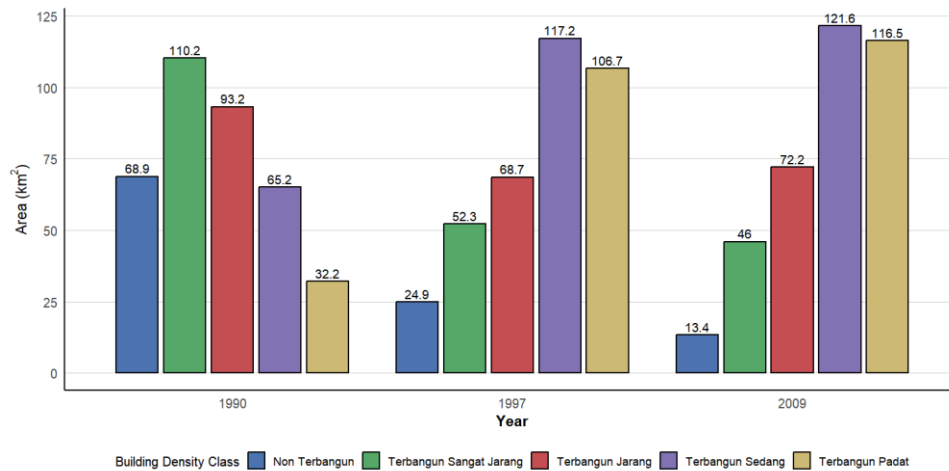
Tabel 3. Perubahan Luas Kerapatan Bangunan

Klasifikasi	1990		1997		2009	
	Luas (km ²)	Luas (%)	Luas (km ²)	Luas (%)	Luas (km ²)	Luas (%)
Non Terbangun	68.86	18.62	24.94	6.7	13.42	3.6
Terbangun Sangat Jarang	110.24	29.81	52.28	14.14	46.05	12.45
Terbangun Jarang	93.23	25.21	68.65	18.56	72.16	19.51
Terbangun Sedang	65.17	17.62	117.2	31.7	121.62	32.89
Terbangun Padat	32.22	8.71	106.66	28.84	116.46	31.5

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2025.

Tabel 3 menunjukkan peningkatan signifikan luasan wilayah terbangun selama 1990-2009. Kategori terbangun padat melonjak dari 32,22 km² (8,71%) menjadi 116,46 km² (31,5%), sementara terbangun sedang meningkat hampir dua kali lipat dari 65,17 km² (17,62%) menjadi 121,62 km² (32,89%). Sebaliknya, kelas non-terbangun menyusut dari 68,86 km² (18,62%) menjadi 13,42 km² (3,6%), dan

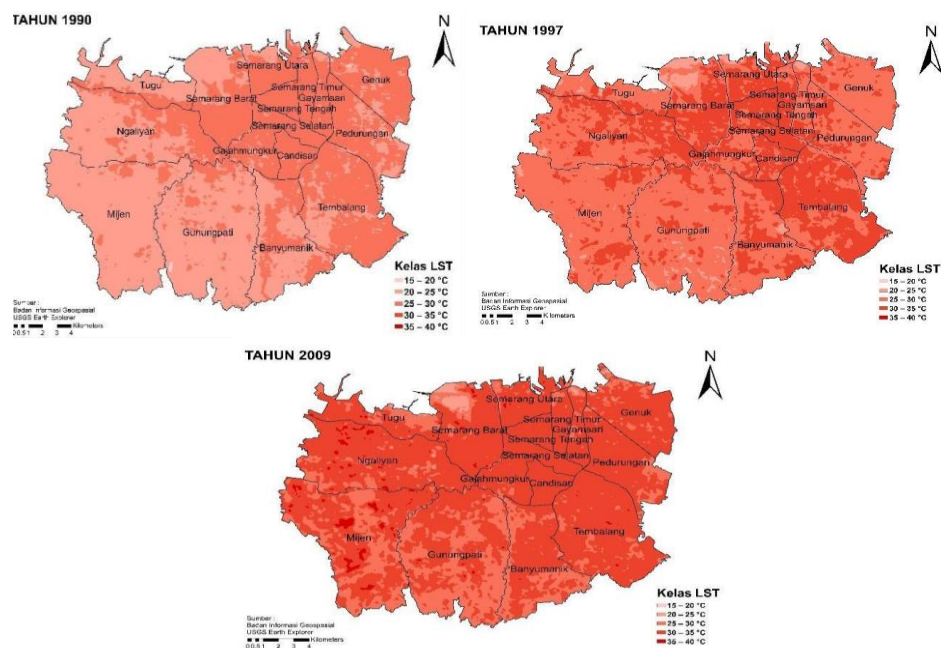
terbangun sangat jarang dari 110,24 km² (29,81%) menjadi 46,05 km² (12,45%). Pola ini mengindikasikan intensifikasi penggunaan lahan seiring urbanisasi, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Perubahan Kerapatan Bangunan
(Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2025)

Perubahan Suhu Permukaan Tanah

Analisis *Land Surface Temperature* (LST) dilakukan untuk mengevaluasi distribusi suhu permukaan di Kota Semarang menggunakan citra Landsat tahun 1990, 1997, dan 2009. Data LST dihitung dari kanal termal yang dikalibrasi secara radiometrik, kemudian diklasifikasikan ke dalam enam kelas suhu, yaitu 10-15°C, 15-20°C, 20-25°C, 25-30°C, 30-35°C, dan 35-40°C. Klasifikasi menggunakan metode nilai ambang tetap dengan batas suhu yang lazim digunakan dalam kajian suhu permukaan wilayah tropis. Penggunaan ambang tetap menjaga konsistensi analisis multitemporal sehingga pola distribusi suhu antartahun dapat dibandingkan secara objektif. Setiap kelas menggambarkan kondisi termal berbeda, dari suhu rendah pada area bervegetasi lebat dan badan air hingga suhu tinggi pada kawasan terbangun padat dan permukaan kedap air. Klasifikasi ini menjadi dasar untuk mendeteksi indikasi *Urban Heat Island* serta keterkaitannya dengan perubahan penggunaan lahan.



Gambar 5. LST Kota Semarang Tahun 1990, 1997, dan 2009
(Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2025)

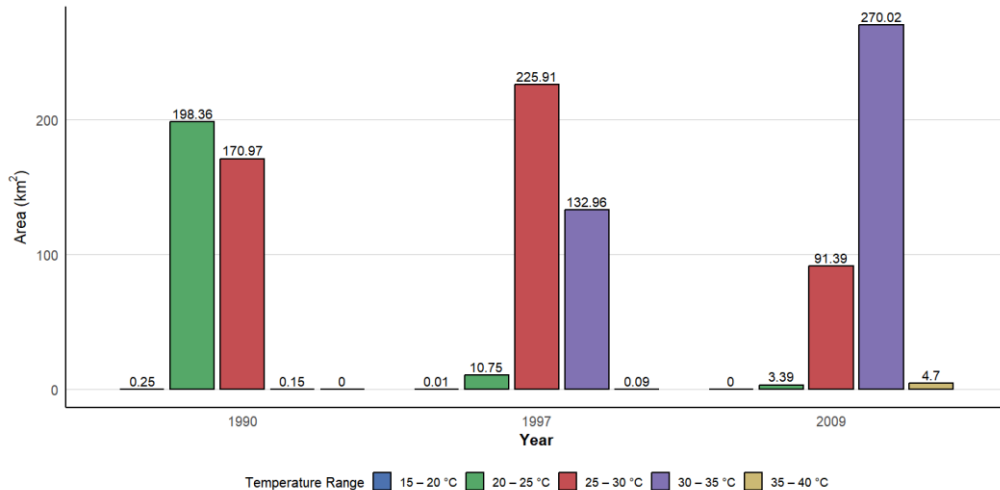
Hasil klasifikasi menunjukkan adanya pergeseran distribusi kelas suhu dari rentang rendah ke rentang tinggi selama periode 1990–2009. Pada tahun 1990, sebagian besar wilayah kota didominasi oleh kelas suhu 20–25°C dan 25–30°C, namun pada tahun 2009 terlihat peningkatan signifikan pada luas wilayah dengan suhu 30–35°C dan bahkan 35–40°C. Tren ini menunjukkan adanya peningkatan suhu permukaan yang cukup tajam, yang berkorelasi erat dengan peningkatan kawasan terbangun serta penurunan area vegetasi yang berfungsi sebagai penyeimbang termal. Perubahan luas oleh suhu dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Perubahan Luas Berdasarkan Suhu

Klasifikasi	1990		1997		2009	
	Luas (km ²)	Luas (%)	Luas (km ²)	Luas (%)	Luas (km ²)	Luas (%)
15 – 20 °C	0.25	0.067	0.008	0.002	0	0
20 – 25 °C	198.36	53.64	10.75	2.9	3.39	0.91
25 – 30 °C	170.97	46.24	225.91	61.1	91.39	24.73
30 – 35 °C	0.15	0.04	132.96	36	270.02	73.1
35 – 40 °C	0	0	0.09	0.02	4.7	1.2

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2025.

Tabel 4 memperlihatkan pergeseran signifikan distribusi suhu permukaan sepanjang 1990-2009. Pada tahun 1990, mayoritas wilayah berada pada rentang 20-25 °C (53,64%) dan 25-30 °C (46,24%). Pada tahun 2009, dominasi bergeser ke rentang 30-35 °C yang mencakup 270,02 km² atau 73,1% wilayah studi, sementara rentang 20-25 °C turun menjadi 0,91% dan rentang 15-20 °C menghilang. Suhu ekstrem 35-40 °C mulai muncul pada 1997 dan meningkat hingga 4,7 km² (1,2%) pada 2009. Perubahan ini berkorelasi dengan ekspansi wilayah terbangun dan berkurangnya tutupan vegetasi, sebagaimana diilustrasikan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Grafik Perubahan Suhu Permukaan
(Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2025)

Analisa Korelasi Pearson

Tabel 5. Tabel Analisa Korelasi Pearson

Tahun	Korelasi Pearson (R)		
	NDVI dan LST	NDBI dan LST	NDVI dan NDBI
1990	-0.508238	0.725855	-0.781771
1997	-0.449915	0.660573	-0.756475
2009	-0.385250	0.551385	-0.797512

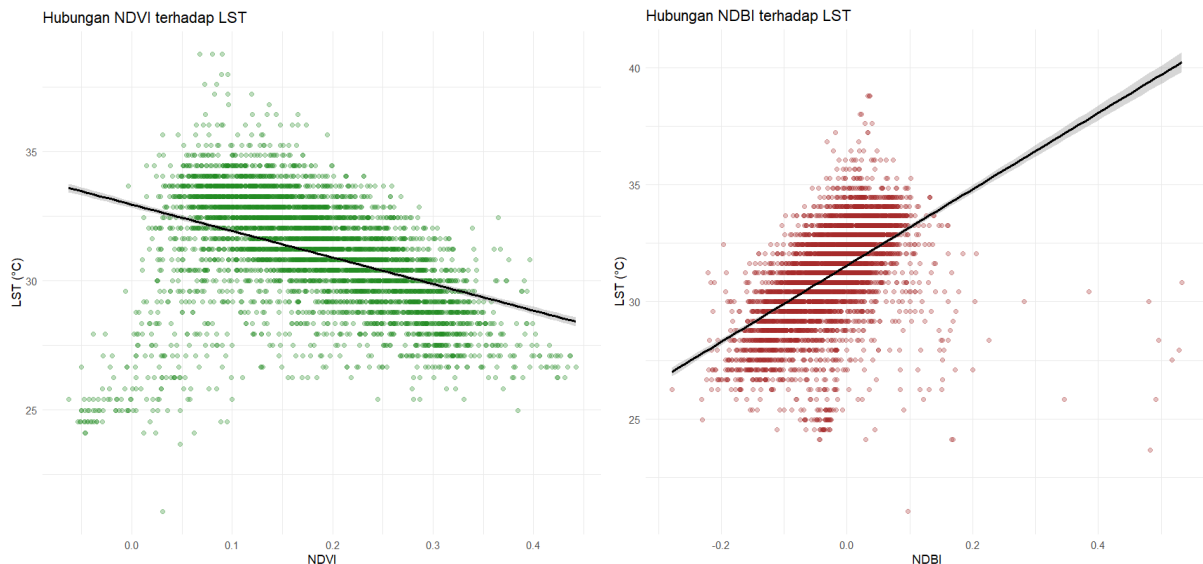
Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2025.

Hasil analisis korelasi Pearson menunjukkan hubungan yang konsisten antara NDVI, NDBI, dan LST selama 1990-2009. Korelasi negatif antara NDVI dan LST mengindikasikan bahwa semakin tinggi kerapatan vegetasi, suhu permukaan cenderung menurun. Nilai korelasi ini melemah dari -0,51 pada 1990 menjadi -0,39 pada 2009, mencerminkan menurunnya efektivitas vegetasi dalam menstabilkan suhu seiring berkurangnya lahan hijau akibat ekspansi urban.

Sebaliknya, korelasi positif yang kuat ditemukan antara NDBI dan LST, dengan nilai menurun dari 0,73 menjadi 0,55 pada periode yang sama. Kawasan terbangun tetap berkontribusi signifikan terhadap peningkatan suhu permukaan, meskipun pengaruhnya melandai akibat variasi jenis permukaan kedap air dan upaya penghijauan terbatas. Hubungan NDVI dan NDBI menunjukkan korelasi negatif yang sangat kuat dan stabil pada ketiga tahun, menegaskan bahwa peningkatan lahan terbangun berbanding lurus dengan penurunan tutupan vegetasi. Temuan ini menggarisbawahi peran vegetasi dalam mitigasi suhu permukaan sekaligus dampak urbanisasi terhadap dinamika termal perkotaan.

Analisa Regresi Linear

Regresi linear dilakukan untuk data tahun 2009 guna menganalisis hubungan antara LST dengan variabel NDVI dan NDBI dengan menggunakan *software* R.



Gambar 7. Scatter Plot + Garis Regresi Linear (NDVI & NDBI terhadap LST)
(Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2025)

Hasil regresi linear menunjukkan hubungan signifikan antara NDVI dan NDBI terhadap LST. Model menghasilkan koefisien determinasi R^2 sebesar 0,2796, yang berarti 27,96% variasi LST dapat dijelaskan kombinasi kedua indeks. NDBI berpengaruh sangat signifikan terhadap LST ($p < 2e-16$) dengan koefisien 17,13, sehingga setiap kenaikan satu satuan NDBI meningkatkan suhu permukaan sebesar 17,13 °C. Sebaliknya, NDVI tidak signifikan secara statistik ($p = 0,0804$) meskipun berkoefisien positif 0,87. Hasil ini menegaskan bahwa peningkatan area terbangun merupakan pengendali utama kenaikan suhu permukaan di wilayah studi.

Tabel 6. Tabel Ringkasan Regresi Linear Tahun 2009

Variabel	Koefisien	Std. Error	t value	p-value
Intersep	31.41407	0.08145	385.683	$< 2e-16$
NDVI	0.87428	0.49998	1.749	0.0804
NDBI	17.13371	0.61431	27.891	$< 2e-16$

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian, 2025.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa selama periode 1990 hingga 2009 terjadi perubahan drastis dalam tutupan lahan Kota Semarang, ditandai oleh menurunnya luas vegetasi tinggi dari 25,51% menjadi hanya 7,91%, serta meningkatnya kawasan terbangun padat dari 8,71% menjadi 31,5%. Pergeseran ini berkontribusi terhadap peningkatan suhu permukaan, dengan dominasi suhu bergeser dari rentang 20–25 °C menjadi 30–35 °C serta meluasnya suhu ekstrem 35–40 °C hingga 1,2% pada tahun 2009. Hasil korelasi Pearson mengindikasikan hubungan negatif antara NDVI dan LST serta hubungan positif antara NDBI dan LST. Model regresi linear tahun 2009 menunjukkan bahwa NDBI memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan suhu permukaan dengan koefisien 17,13, sedangkan NDVI tidak signifikan secara statistik. Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa penurunan vegetasi dan peningkatan kawasan terbangun berperan besar dalam memicu peningkatan suhu permukaan dan memperkuat intensitas UHI di kawasan tropis seperti Kota Semarang.

DAFTAR PUSTAKA

- Agusman, R., Maulana, A. P., Hutagaol, R. R., Vieri, C., & Handawati, R. (2025). Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Palembang berdasarkan *Land Surface Temperature* (LST) dan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, 21(2). <https://doi.org/10.14710/pwk.v21i2.61269>
- Aslan, N., & Koc-San, D. (2021). The use of land cover indices for rapid surface urban heat island detection from multi-temporal Landsat imageries. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(6), 416. <https://doi.org/10.3390/ijgi10060416>
- Auntarin, C., Chunpang, P., Chokkuea, W., & Laosuwan, T. (2021). Using a split-window algorithm for the retrieval of the land surface temperature via Landsat-8 OLI/TIRS. *Geographia Technica*, 16(Special Issue), 30-42. https://doi.org/10.21163/gt_2021.163.03
- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*, 2016, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2016/1480307>
- Ayuni, S. I., Widyatama, A. A., & Zani, N. M. (2023). The effect of changes in land cover and vegetation density on urban heat island in Semarang City. *PENA TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 8(1), 78-96. https://doi.org/10.51557/pt_jiit.v8i1.1632
- Bobáľová, H., & Opravil, Š. (2026). Improving Landsat land surface temperature estimation in Google Earth Engine using NDVI-based emissivity. *Advances in Space Research*, 77(3), 3281-3299. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2025.11.085>
- de Almeida, C. R., Teodoro, A. C., & Gonçalves, A. (2021). Study of the urban heat island (UHI) using remote sensing data/techniques: a systematic review. *Environments*, 8(10), 105. <https://doi.org/10.3390/environments8100105>
- Gandri, L. (2022). Analisis spasial fenomena urban heat island menggunakan algoritma land surface temperature Kota Kendari. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 23(2), 109-118. <https://doi.org/10.31172/jmg.v23i2.852>
- Glowienka, E., & Micek, Z. (2025). Multitemporal assessment of Krakow's urban microclimate (2002-2023) using satellite-derived land surface temperature, NDVI, and NDBI. *Geomatics, Landmanagement and Landscape*, (3). <https://doi.org/10.15576/gll/211223>
- Kabano, P., Lindley, S., & Harris, A. (2021). Evidence of urban heat island impacts on the vegetation growing season length in a tropical city. *Landscape and Urban Planning*, 206, 103989. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103989>
- Koomen, E., & Diogo, V. (2017). Assessing potential future urban heat island patterns following climate scenarios, socio-economic developments and spatial planning strategies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 22(2), 287-306. <https://doi.org/10.1007/s11027-015-9646-z>

- Mukhlis, A. B., Nugraha, S. B., Hariyanto, H., & Tjahjono, H. (2022). The relationship between urban heat island on land use changes and environment critical index in Semarang City. *Geographica: Science and Education Journal*, 4(1). <https://doi.org/10.31327/gsej.v4i1.1732>
- Nurgiantoro, N., & Aris, A. (2022). Analisis land surface emissivity menggunakan data NDVI Landsat 8 dan pengaruhnya terhadap formasi land surface temperature di Wilayah Kota Kendari. *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 1(2), 39-44. <https://doi.org/10.12962/jpji.v1i2.257>
- Nusriah, L. O. A., Syarqiyah, S. A., & Mbatu, G. H. J. (2026). Dinamika spasio-temporal NDVI, NDWI, NDBI, dan land surface temperature dalam kaitannya dengan intensitas urban heat island di Wilayah Barat Kabupaten Maros periode 2017-2025. *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 5(2), 52-67. <https://doi.org/10.12962/jpji.v5i2.10412>
- Ridha, R. (2025). Kajian pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap temperatur suhu permukaan Kota Mataram. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, 9(1), 21-31. <https://doi.org/10.29408/geodika.v9i1.25540>
- Sari, M. M., Dewi, A. P., Lestari, V. H., & Deviro, S. O. (2026). Land cover changes, built-up and vegetation density, and the urban heat island (UHI) phenomenon in Pekanbaru City. *SINERGI*, 30(1), 31-42. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2026.1.004>
- Sidiq, V. N. (2026). Korelasi antara leaf area index (LAI) dan land surface temperature (LST) menggunakan data penginderaan jauh. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, 10(2), 200-206. <https://doi.org/10.29408/geodika.v10i2.34270>
- Suparta, W. (2024). Mapping of urban heat island in West Semarang Subdistrict, Semarang City of Indonesia. *International Journal of Oceanography & Aquaculture*, 8(1), 1-5. <https://doi.org/10.23880/ijoa-16000295>