

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima : 9 Januari 2026

Disetujui : 30 Januari 2026

GEOGRAFI

VARIASI SPASIAL TEMPORAL FENOMENA SURFACE URBAN HEAT ISLAND DI KOTA TERNATE**Vina Yunita^{1*}, Andri Kurniawan¹, Emilya Nurjani¹**¹ Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

(✉) *vinayunita@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Kajian mengenai fenomena *Surface Urban Heat Island* (SUHI) umumnya difokuskan pada kota-kota besar, akan tetapi fenomena serupa juga berpotensi terjadi pada kota dengan skala yang lebih kecil. Kota Ternate, sebagai kota berskala sedang di Provinsi Maluku Utara yang memiliki peran strategis dan terus mengalami pembangunan, berpotensi mengalami perubahan iklim perkotaan yang memicu terbentuknya SUHI. Penelitian ini bertujuan untuk melihat dinamika SUHI secara multi-temporal yang terjadi di Kota Ternate. Analisis dilakukan dengan memanfaatkan citra satelit Landsat 7 Tahun 2003 dan Landsat 8 Tahun 2014 dan 2024. Produk MOD11A dari citra MODIS dan data pengukuran lapangan juga akan digunakan sebagai data pembanding untuk uji validasi, dan perhitungan akurasi menggunakan metode NMAE. Hasil analisis menunjukkan terjadi perubahan yang signifikan pada distribusi kelas SUHI, khususnya peningkatan yang konsisten pada Kelas V SUHI, yang mengindikasikan terjadinya peningkatan suhu permukaan di Kota Ternate. Hasil uji akurasi menunjukkan tingkat ketelitian yang baik pada tahun 2014 dan 2024, sementara pada tahun 2003 nilai kesalahan relatif lebih tinggi.

Kata kunci: SUHI; Landsat; MODIS; Suhu Permukaan Tanah; NMAE**Abstract**

Studies on the Surface Urban Heat Island (SUHI) phenomenon have predominantly focused on large cities, although similar processes may also occur in smaller urban areas. Ternate City, a medium-sized city in North Maluku Province that plays a strategic role and continues to undergo urban development, is potentially experiencing urban climate changes that contribute to the formation of SUHI. This study aims to analyze the multi-temporal dynamics of SUHI in Ternate City using Landsat 7 imagery from 2003 and Landsat 8 imagery from 2014 and 2024. The MOD11A product derived from MODIS imagery and field measurement data will also be used as comparative data for validation purposes, with accuracy assessed using the NMAE method. The results reveal significant changes in the spatial distribution of SUHI classes, particularly a consistent increase in SUHI Class V, indicating a rising surface temperature in Ternate City. Accuracy assessment results show good performance for the 2014 and 2024 analyses, whereas relatively higher error values were observed for the 2003 dataset.

Keywords: SUHI; Landsat; MODIS; Land Surface Temperature; NMAE**PENDAHULUAN**

Meningkatnya laju urbanisasi telah menjadi pembahasan penting dalam keberlanjutan kota selama beberapa dekade terakhir. Meskipun urbanisasi memberikan kontribusi yang signifikan terhadap aspek sosial ekonomi, akan tetapi di satu

sisi dapat menimbulkan tantangan serius terhadap keberlanjutan dan kelayakan hidup di wilayah perkotaan (Mathew et al., 2025). Hotimah, dkk. (2025) menuturkan urbanisasi mengakibatkan bertambahnya kawasan terbangun akibat tingginya kebutuhan ruang untuk infrastruktur dan

permukiman serta berkurangnya ruang terbuka hijau, yang meningkatkan penyerapan terhadap panas. Berlangsungnya kondisi ini dapat memperparah ekologi kota dan memicu terjadinya fenomena *Urban Heat Island* (UHI).

UHI merupakan fenomena meningkatnya suhu di kawasan perkotaan dibandingkan dengan wilayah sekitarnya. Perbedaan suhu ini dapat dianalisis menggunakan data *Land Surface Temperature* (LST), yang merepresentasikan suhu permukaan tanah. LST merupakan salah satu parameter fisis yang penting untuk menggambarkan energi permukaan dan kesetimbangan uap air di udara, berbeda halnya dengan suhu cuaca, suhu permukaan dapat dengan cepat mengalami panas dan cepat kembali dingin (Perwita dkk., 2020). Mengatasi dampak negatif dari UHI yang meluas ke berbagai sektor, termasuk kesehatan masyarakat, konsumsi energi, infrastruktur perkotaan, dan khususnya merugikan populasi rentan menjadi sangat penting untuk mempertahankan visi pembangunan kota berkelanjutan (Zezzo, 2025). Kajian UHI yang didasarkan pada suhu permukaan tersebut dikenal sebagai *Surface Urban Heat Island* (SUHI) (Fawzi dan Jatmiko, 2018).

Pemantauan SUHI dapat dilakukan secara langsung dengan melakukan pengukuran *in situ* maupun dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh citra satelit, yang mampu mendeteksi kenaikan LST. Citra yang paling banyak digunakan dalam analisis SUHI adalah Landsat dan Terra/Aqua MODIS (Koman dkk., 2021). Kenaikan LST di Indonesia kini mulai terdeteksi di kota-kota kecil dan menengah, termasuk Kota Ternate (Rakuasa dkk., 2025). Hal ini sejalan dengan temuan Zhang (2025) bahwa intensitas UHI tidak hanya ditemukan di kota skala besar, tetapi juga pada skala kota yang lebih kecil, tergantung pada morfologi dan pola tata guna lahannya. Kota Ternate sebagai kota skala sedang dengan populasi 210.836 jiwa berdasarkan data populasi dari Badan Pusat Statistik Tahun 2023, menjadi contoh nyata bagaimana intensitas suhu permukaan mulai meningkat di wilayah perkotaan skala menengah.

Lanskap Kota Ternate yang berupa kepulauan dengan gunung vulkanik menjadikan segala aktivitas dan perkembangan kotanya terpusat di wilayah pesisir. Hal ini memicu konversi lahan di sepanjang garis pantai, sehingga ruang terbuka hijau dan vegetasi alami beralih fungsi menjadi kawasan terbangun yang kedap air (*impervious surface*). Transformasi tutupan lahan di perkotaan khususnya pergeseran lahan vegetasi menjadi lahan terbangun dapat menjadi pendorong utama meningkatnya kapasitas penyimpanan panas di permukaan yang mempengaruhi iklim perkotaan (Andani, dkk., 2018).

Berdasarkan ulasan di atas, penelitian ini bertujuan untuk melihat perubahan distribusi SUHI secara multitemporal yang terjadi di Kota Ternate pada tahun 2003, 2014 dan 2024. Kota Ternate terdiri atas tiga pulau besar dan enam pulau kecil, namun penelitian ini akan difokuskan pada pulau terbesarnya, yaitu Pulau Ternate. Lokasi ini dipilih dikarenakan merupakan wilayah dengan luasan yang relatif kecil dan merupakan salah satu wilayah dengan jumlah penduduk terbanyak di Maluku Utara, serta terus mengalami pertumbuhan lahan terbangun (Latue, 2023).

Penelitian ini dapat memberikan pemahaman tambahan terkait dinamika sebaran SUHI di kota berukuran sedang dari waktu ke waktu yang pada umumnya dilakukan di kota berskala besar. Hal ini juga menjadi informasi penting sebagai pembanding atau salah satu representasi dari Indonesia Timur untuk kajian iklim perkotaan.

METODE PENELITIAN

Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data penginderaan jauh sebagai sumber data utama untuk menganalisis SUHI di Kota Ternate. Data utama yang digunakan berupa citra satelit Landsat, yaitu Landsat 7 *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) dan Landsat 8 *Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor* (OLI/TIRS) yang diunduh pada laman resmi USGS. Citra Landsat dipilih karena memiliki resolusi spasial menengah yang memadai untuk analisis suhu permukaan pada

skala perkotaan serta ketersediaan data historis yang panjang (Zhou, et. al., 2019).

Citra Landsat 7 digunakan untuk pengamatan LST tahun 2003 sedangkan citra Landsat 8 untuk pengamatan LST tahun 2014 dan 2024. Sebagai catatan, data Landsat 7 yang digunakan dalam analisis merupakan data sebelum terjadinya gangguan *Scan Line Corrector* (SLC-off) sehingga citra yang digunakan masih terbebas dari adanya celah (*gap*) data pada citra. Pemilihan citra disesuaikan dengan ketersediaan data dan kondisi tutupan awan di wilayah penelitian. Untuk mengevaluasi hasil analisis LST yang diperoleh dari citra Landsat, diperlukan data tambahan berupa data suhu permukaan yang diperoleh secara langsung di beberapa titik yang telah ditentukan, serta dengan menggunakan produk MOD11A1 dari citra MODIS yang menyediakan data LST dan emisivitas harian dengan resolusi spasial 1 km. Validasi LST menggunakan citra MODIS hanya dilakukan untuk periode lampau, sementara analisis tahun 2024 divalidasi menggunakan pengukuran *in situ* karena lebih merepresentasikan kondisi aktual suhu permukaan serta memiliki tingkat ketelitian pengukuran yang lebih tinggi. Rincian data citra satelit yang digunakan dihimpun dalam tabel 1.

Tabel. 1 Data yang di gunakan

No	Sensor	Tanggal Akuisisi
1	Landsat 7 (<i>path/row</i> : 110/59)	28 April 2003
2	Landsat 8 (<i>path/row</i> : 110/59)	1 Maret 2014
3	Landsat 8 (<i>path/row</i> : 110/59)	25 Februari 2024
4	MOD11A1	28 April 2003
5	MOD11A1	1 Maret 2014

Pengolahan Data

Pra-Pengolahan Citra

Tahap pra-pengolahan citra merupakan langkah krusial untuk memastikan akurasi nilai suhu yang dihasilkan dari sensor satelit. Proses ini diawali dengan koreksi radiometrik, yang mengubah nilai *Digital Number* (DN) pada piksel citra menjadi nilai fisik berupa radiansi spektral

(*spectral radiance*). Setelah itu, dilakukan koreksi atmosfer untuk menghilangkan efek gangguan dari uap air, aerosol, dan gas di atmosfer yang dapat menyerap atau memancarkan radiasi termal tambahan. Selanjutnya, data citra yang digunakan di *cropping* sesuai dengan batas wilayah penelitian untuk mendapatkan hasil analisis yang terfokus pada wilayah studi.

Ekstraksi Nilai LST

1. Landsat 7 ETM+

Ekstraksi data LST mengikuti buku panduan dari Landsat 7 ETM+ yang telah tersedia. Algoritma yang digunakan terdiri atas tahapan-tahapan yang meliputi konversi nilai piksel menjadi nilai radian atau koreksi radiometrik yang telah dilakukan sebelumnya, konversi nilai radian menjadi *brightness temperature*, dan diakhiri dengan mengubah nilai *brightness temperature* menjadi nilai suhu permukaan. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai *brightness temperature*, yaitu :

$$BT = \frac{K2}{\ln \left(\frac{K1}{L} + 1 \right)} - 273.15$$

Dalam perhitungan ini, K1 dan K2 berperan sebagai konstanta yang telah ditentukan dan tercantum dalam metadata citra Landsat, sementara $L\lambda$ merepresentasikan nilai radiansi spektral dari citra tersebut.

2. Landsat 8 OLI/TIRS

Ekstraksi data LST dengan Landsat 8 menggunakan metode *single channel* serta mengikuti persamaan berikut :

$$LST = \frac{BT}{\left\{ 1 + \left(\frac{\lambda BT}{\rho} \right) \ln \varepsilon \lambda \right\}}$$

Dalam persamaan tersebut, BT merupakan *brightness temperature* yang dinyatakan dalam satuan derajat Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Variabel λ menunjukkan panjang gelombang radiasi yang dipancarkan oleh permukaan bumi, sedangkan $\varepsilon\lambda$ merepresentasikan emisivitas permukaan tanah pada panjang gelombang tertentu. Adapun ρ merupakan konstanta Planck terkonversi dengan nilai sebesar $1,438 \times 10^{-2} \text{ m}\cdot\text{K}$, yang digunakan

dalam perhitungan suhu berdasarkan radiasi termal.

3. MODIS Land Surface Temperature/Emissivity Daily (MOD11A1)

Ekstraksi data LST dengan citra satelit MODIS bertujuan untuk memvalidasi hasil analisis LST dari citra Landsat pada periode tahun lampau, yaitu tahun 2003 dan 2014. Sementara itu validasi data LST tahun terbaru (2024) menggunakan data pembandingan berupa data hasil pengukuran suhu lapangan secara in situ. Proses validasi dilakukan dengan menggunakan metode *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE). Pendekatan ini bertujuan untuk menilai tingkat akurasi dan konsistensi hasil estimasi LST yang diperoleh dari citra Landsat.

Data MODIS diambil dari produk MOD11A1 yang diproses melalui platform *Google Earth Engine* (GEE). Dalam praktiknya, GEE menyediakan produk siap pakai seperti MOD11A1 yang telah dikoreksi secara geometrik dan radiometrik, sehingga pengguna cukup memanggil koleksi citra tersebut untuk area studi tertentu. Dengan memanfaatkan GEE tahapan pengolahan data yang rumit dapat dilakukan secara lebih cepat dan efisien dibandingkan pendekatan konvensional. Platform ini juga dilengkapi dengan berbagai perangkat analisis yang komprehensif serta mendukung pemrosesan paralel, sehingga mampu menangani data dalam skala besar secara optimal (Sarzynski, dkk., 2020).

Secara teknis, nilai piksel mentah pada data MODIS perlu dikalibrasi menggunakan faktor skala untuk mendapatkan nilai suhu fungsional. Rumus yang digunakan untuk mengonversi nilai *Digital Number* (DN) menjadi suhu dalam satuan Celcius adalah::

$$LST(^{\circ}C) = (DN \times 0.02) - 273.15$$

Dimana, DN merupakan nilai piksel mentah dan 0.02 adalah scale factor resmi dari NASA untuk produk MOD11 serta pengurangan dengan 273.15 untuk mengonversi suhu ke celcius. Adapun rumus perhitungan untuk NMAE adalah:

$$NMAE (\%) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{X_{est,i} - X_{meas,i}}{X_{meas}} \right| \times 100$$

Dimana, X_{est} merupakan nilai suhu permukaan di citra dan X_{meas} adalah nilai suhu permukaan di lapangan.

Klasifikasi SUHI

Efek SUHI meningkatkan suhu di wilayah perkotaan dan memicu kejadian cuaca panas yang lebih sering. Evaluasi SUHI umumnya dilakukan menggunakan dua metode, yaitu klasifikasi interval yang sama dan klasifikasi berbasis standar deviasi rata-rata. Metode interval yang sama dapat menggambarkan sebaran suhu secara spasial, namun bersifat kaku dalam penentuan batas kelas. Sebaliknya, metode standar deviasi rata-rata lebih adaptif karena mempertimbangkan variasi suhu dan perbedaan waktu pengamatan (Wu, et.al., 2024). Klasifikasi SUHI pada penelitian ini mengikuti penelitian dari Wu, et.al., (2024) dengan mengelompokkan SUHI kedalam 5 kelas menggunakan metode standar deviasi rata-rata (Tabel.2). Metode ini dipilih agar dapat merepresentasikan kondisi termal seluruh wilayah kajian yang berbentuk pulau, khususnya yang secara spasial tidak memiliki batasan urban-suburban yang tegas.

Tabel 2. Klasifikasi Kelas SUHI

Kelas	Intensitas SUHI	Rentang
I	Sangat Rendah	$LST < T_m - S_d$
II	Rendah	$T_m - S_d < LST \leq T_m - 0.5S_d$
III	Sedang	$T_m - 0.5S_d < LST \leq T_m + 0.5S_d$
IV	Tinggi	$T_m + 0.5S_d < LST \leq T_m + S_d$
V	Sangat Tinggi	$LST > T_m + S_d$

Sumber: Wu, et.al., 2024

dimana, T_m merupakan Mean dan S_d adalah standar deviasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi LST

Hasil analisis LST atau suhu permukaan Kota Ternate dengan Citra Landsat menunjukkan kemiripan pola spasial di tiap periode pengamatan.

Intensitas LST yang lebih tinggi mendominasi wilayah pesisir dan semakin rendah di bagian tengah atau daerah di sekitar puncak Gunung Gamalama yang memiliki elevasi lebih tinggi. Pola ini mengindikasikan adanya gejala SUHI yang cenderung terkonsentrasi pada kawasan terbangun atau pada area pusat aktivitas manusia dan pemukiman padat di koridor pesisir.

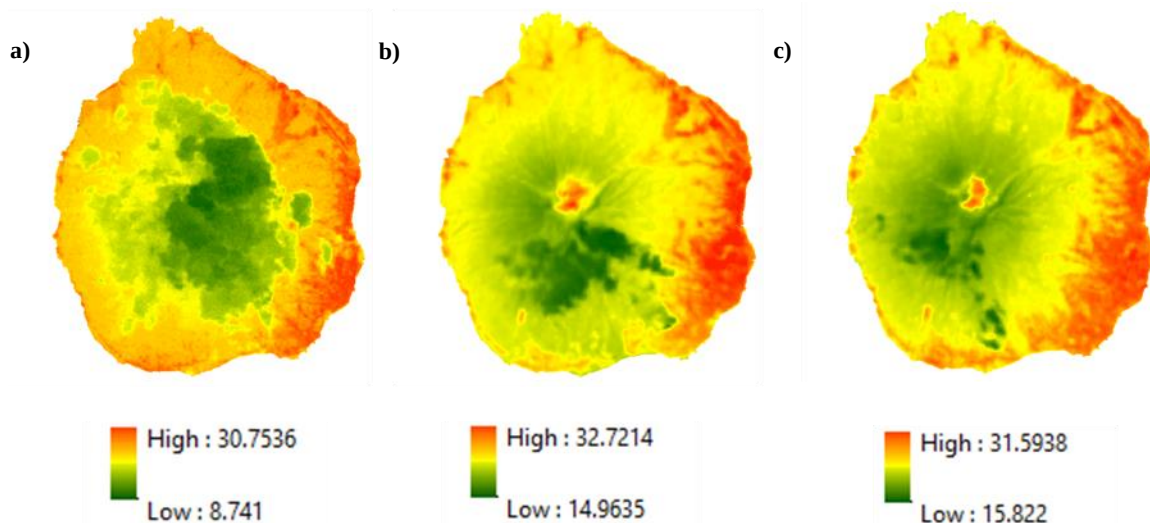
Berdasarkan analisis temporal Tahun 2003–2024, terjadi tren peningkatan suhu minimum yang cukup signifikan. Pada tahun 2003, suhu permukaan berkisar antara 8.74°C hingga 30.754°C. Variasi rentang nilai LST di tingkat kelurahan menunjukkan dinamika yang beragam. Pada periode ini Kelurahan Tongole memiliki nilai LST terendah yaitu 12,156°C sedangkan Kelurahan Tarau memiliki nilai LST tertinggi yaitu 30.753°C. Sementara itu Kelurahan Tobelevu memiliki rentang LST terbesar yakni sebesar 16.5°C dan Kelurahan Tanah Raja memiliki rentang terkecil yaitu sebesar 1.5°C.

Analisis LST tahun 2014 menunjukkan, rentang suhu Kota Ternate meningkat menjadi 14.96°C hingga 32.721°C dengan konsentrasi panas terendah tetap berada di Kelurahan Tongole namun mengalami peningkatan menjadi 16.211°C. Sementara itu Kelurahan Tabam memiliki nilai LST tertinggi sebesar 32.721°C. Kelurahan

Maliaro memiliki rentang LST terbesar yakni 13.5°C dan Kelurahan Tanah Raja memiliki rentang terendah yaitu sebesar 0.9°C.

Pada Tahun 2024, meskipun suhu maksimum sedikit terkendali di angka 31.593°C, akan tetapi terjadi peningkatan suhu minimum menjadi 15.82°C. Suhu terendah pada periode ini ditemukan di Kelurahan Fitu dengan nilai 17.754°C sedangkan Kelurahan Tabam masih memegang nilai LST tertinggi sebesar 31.593°C. Sementara itu Kelurahan Fitu memiliki rentang LST terbesar yakni 10.3°C dan Kelurahan Tanah Raja memiliki rentang terendah yaitu sebesar 1.2°C.

Kelurahan Tanah Raja secara konsisten menunjukkan rentang suhu paling terendah, yang mengindikasikan adanya homogenitas tutupan lahan di wilayah tersebut. Sebaliknya, kelurahan seperti Tobelevu, Maliaro, dan Fitu mencatat rentang nilai yang besar. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah-wilayah tersebut memiliki keragaman karakteristik permukaan yang kontras, yakni perpaduan antara area terbangun dengan ruang terbuka hijau atau lahan bervegetasi. Variasi terhadap rentang LST tersebut juga dipengaruhi oleh luasan wilayah kelurahan, dimana Kelurahan Tanah Raja merupakan kelurahan dengan luasan terkecil di Kota Ternate.



Gambar 1. Peta Distribusi LST Kota Ternate; a) 2003; b) 2014; c) 2024

Validasi Data LST

Berdasarkan hasil validasi LST dengan metode NMAE, diperoleh tingkat akurasi yang bervariasi antar sensor dan periode waktu pengamatan. Menurut Jaelani & Matsushita, (2015) syarat minimum keakuratan dengan metode NMAE adalah di bawah atau sama dengan 30%. Hasil estimasi LST dari citra Landsat 7 yang divalidasi menggunakan data MODIS menunjukkan nilai NMAE sebesar 30%. Hasil ini menunjukkan nilai LST yang masih berada pada ambang batas toleransi akurasi sehingga dapat diterima. Meskipun demikian, angka NMAE pada pengamatan periode ini memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan pada periode lain yang dapat disebabkan oleh perbedaan kualitas data seperti resolusi citra satelit yang digunakan. Sebagai catatan, untuk melakukan *cross-validation* antar citra maka perlu dilakukan penyesuaian resolusi spasial. Dalam penelitian ini, data LST Landsat

dilakukan *resample* dari 30m menjadi 1000m sesuai dengan resolusi spasial pada citra MODIS.

Sementara itu, hasil validasi Tahun 2014 menggunakan data MODIS memiliki keakuratan yang cukup baik, yaitu sebesar 12%. Hasil ini menunjukkan adanya peningkatan terhadap akurasi estimasi LST. Peningkatan kualitas sensor termal pada Landsat 8 menjadi indikasi faktor utama terhadap akurasi hasil estimasi LST pada periode ini.

Kemudian, untuk estimasi LST citra Landsat 8 tahun 2024, divalidasi menggunakan data suhu aktual yang diperoleh secara langsung di lapangan. Hasil NMAE menunjukkan nilai sebesar 18% dengan jumlah observasi sebanyak 100 titik. Hasil tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan hasil validasi tahun 2014 menggunakan data MODIS, akan tetapi masih berada dalam rentang kesalahan yang dapat diterima.

Tabel 3. Nilai NMAE Validasi LST 2003-2024

Sensor	Tahun	Data Pemandangan	Jumlah Observasi	NMAE
Landsat 7	2003	MODIS	71	30%
Landsat 8	2014	MODIS	75	12%
Landsat 8	2024	<i>In situ</i>	100	18%

Sumber: Analisis Data, 2026

Analisis Penentuan Ambang Batas SUHI

Penentuan ambang batas kelas SUHI dalam penelitian ini mengikuti klasifikasi seperti pada tabel 2. Metode ini dipilih karena mampu menyesuaikan perbedaan karakteristik suhu pada setiap waktu pengamatan. Dengan pendekatan tersebut, tingkat SUHI ditentukan secara relatif terhadap kondisi termal masing-masing tahun, sehingga perbandingan antar periode dapat dilakukan secara lebih konsisten.

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada tahun 2003, suhu permukaan rata-rata sebesar 20,24°C dengan standar deviasi 4,70°C, mencerminkan variasi suhu yang relatif tinggi. Kondisi ini mengindikasikan kontras termal yang masih kuat antara kawasan terbangun dan wilayah

dengan tutupan vegetasi. Pada tahun 2014, nilai rata-rata suhu permukaan meningkat menjadi 23,45°C dengan standar deviasi 3,26°C, yang menunjukkan kenaikan suhu permukaan disertai dengan penurunan variasi spasial. Sementara itu, pada tahun 2024, rata-rata suhu permukaan kembali meningkat menjadi 23,76°C dengan standar deviasi yang lebih kecil, yaitu 2,97°C. Penurunan nilai standar deviasi ini mengindikasikan distribusi suhu permukaan yang semakin homogen, seiring dengan meluasnya kawasan terbangun dan meningkatnya intensitas urbanisasi. Berdasarkan nilai rata-rata dan standar deviasi yang diperoleh, maka penentuan kelas SUHI dapat dikategorikan seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Interval Kelas SUHI

Kelas	Intensitas SUHI	Rentang (°C)		
		2003	2014	2024
I	Sangat Rendah	< 15,540	< 20,19	< 20,79
II	Rendah	15,541 - 17,890	20,190 - 21,820	20,790 - 22,274
III	Sedang	17,891 – 22,590	21,830 – 25,080	22,275 – 25,244
IV	Tinggi	22,591 – 24,940	25,090 – 26,710	25,245 – 26,730
V	Sangat Tinggi	>24,940	>26,710	>26,730

Sumber: Analisis Data, 2026

Distribusi SUHI di Kota Ternate

Berdasarkan hasil klasifikasi SUHI, dapat diidentifikasi perubahan distribusi luas yang terjadi pada setiap kelas SUHI. Hasil analisis tahun 2003 menunjukkan bahwa proporsi daerah dengan tingkat SUHI rendah dan menengah (kelas I, II, & III) lebih besar dibandingkan daerah dengan tingkat SUHI tinggi (kelas IV & V). Meskipun demikian, pada periode ini Kota Ternate didominasi oleh SUHI kelas III yaitu seluas 3.212,88 Ha atau sebesar 31,61% dari total luas wilayah, dan disusul dengan SUHI kelas IV dengan luasan 25,84%. Sementara itu kelas SUHI dengan luasan terkecil adalah kelas II dengan persentase luasan sebesar 11,61% atau seluas 1.180,07 Ha.

Kemudian terlihat perubahan yang cukup signifikan pada tahun 2014, yaitu terjadinya peningkatan pada kelas III menjadi sebesar 5.241,80 Ha dengan persentase luasan 51,58%. Sebaliknya, kelas IV menurun drastis menjadi 805,16 ha (7,92%). Pergeseran ini menunjukkan terjadinya homogenisasi suhu permukaan, di mana sebagian besar wilayah mengalami peningkatan suhu menuju kelas menengah akibat intensifikasi urbanisasi dan alih fungsi lahan, khususnya di wilayah pesisir.

Pada tahun 2024, luasan kelas III menurun menjadi 4.387,99 ha (43,18%) disertai juga penurunan luasan pada kelas-kelas SUHI kategori rendah. Sebaliknya, kelas-kelas SUHI kategori tinggi menunjukkan peningkatan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sebagian wilayah yang sebelumnya berada pada kelas rendah dan menengah telah bergeser menuju kelas SUHI dengan intensitas yang lebih tinggi, seiring

berlanjutnya pembangunan kawasan terbangun dan meningkatnya kepadatan aktivitas perkotaan.

Hasil overlay antara klasifikasi SUHI dengan batas kelurahan menunjukkan adanya perubahan kondisi termal yang signifikan di Kota Ternate. Perubahan paling menonjol ditandai oleh meningkatnya luasan area pada kelas suhu tinggi serta berkurangnya luasan pada kelas suhu rendah. Pada tahun 2003 dan 2014, luasan kelas V masih didominasi oleh Kelurahan Sango dan Tafure dengan kisaran luasan 59–73 hektar. Pada tahun 2024, terjadi lonjakan signifikan di Kelurahan Kalumata, di mana area bersuhu sangat tinggi mencapai 90,87 ha. Kondisi ini menunjukkan bahwa Kelurahan Kalumata berkembang menjadi pusat akumulasi panas utama di Kota Ternate, yang besar dipengaruhi oleh meningkatnya kepadatan permukiman di bagian selatan kota.

Kelurahan Tubo secara konsisten menjadi wilayah dominan pada kelas IV selama periode 2003–2024, meskipun luasannya mengalami penurunan dari sekitar 127 ha menjadi 53 ha. Sementara itu, Kelurahan Takome secara konsisten mendominasi kelas III, yakni sekitar 136–139 ha pada tahun 2014 dan 2024, yang mengindikasikan bahwa wilayah ini masih memiliki keseimbangan tutupan lahan yang lebih baik dibandingkan kawasan pusat kota lainnya.

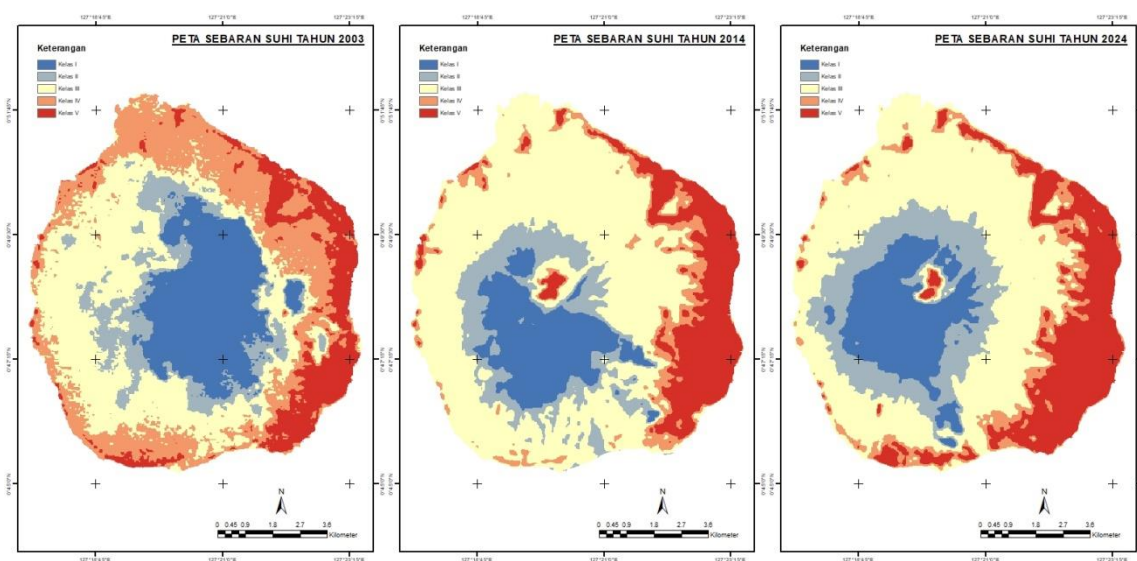
Temuan paling mengkhawatirkan adalah berkurangnya secara drastis jumlah kelurahan yang masih memiliki zona sejuk. Pada tahun 2003, zona sejuk masih terdapat di 26 kelurahan dengan dominasi wilayah Tongole, menunjukkan bahwa sabuk hijau Kota Ternate masih cukup luas. Jumlah ini menurun tajam menjadi 13 kelurahan pada tahun 2014, dan pada tahun 2024 hampir

menghilang, hanya tersisa di beberapa kelurahan seperti Gambesi dan Fitu.

Tabel, 5 Luasan Kelas SUHI

Kelas SUHI	2003		2014		2024	
	Luas (Ha)	%	Luas (Ha)	%	Luas (Ha)	%
I	1.917,39	18,87	1.336,11	13,15	1.428,38	14,05
II	1.180,07	11,61	1.273,96	12,54	1.624,16	15,98
III	3.212,88	31,61	5.241,80	51,58	4.387,99	43,18
IV	2.626,49	25,84	805,16	7,92	848,33	8,35
V	1.226,03	12,06	1.505,90	14,82	1.874,14	18,44
Total	101.63	100	101.63	100	101.63	100

Sumber: Analisis Data, 2026



Gambar 2. Peta Sebaran SUHI Kota Ternate

KESIMPULAN

Secara spasial, hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan suhu permukaan yang semakin jelas pada wilayah-wilayah dengan kepadatan aktivitas penduduk dan intensitas pembangunan yang tinggi. Kelas V SUHI yang merupakan kelas dengan tingkat tertinggi menunjukkan konsistensi peningkatan luasan pada tiap waktu pengamatan. Kawasan terbangun di pusat dan selatan Kota Ternate cenderung mengalami akumulasi panas yang lebih besar dibandingkan wilayah lainnya. Meskipun demikian, area dengan elevasi yang lebih tinggi masih berperan dalam mempertahankan zona bersuhu lebih rendah (*cold spot*), walaupun luasannya terus mengalami penurunan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa faktor topografi dan tutupan lahan alami masih memiliki peran penting dalam mengendalikan suhu permukaan. Hasil uji akurasi menggunakan metode *Normalized Mean*

Absolute Error (NMAE) menunjukkan bahwa estimasi LST tahun 2014 memiliki tingkat kesalahan paling rendah. Sebaliknya, analisis LST tahun 2003 menunjukkan nilai kesalahan yang lebih tinggi meskipun masih berada pada dalam toleransi kesalahan yang dapat diterima, yang diduga berkaitan dengan perbedaan karakteristik dan kualitas sensor termal pada citra Landsat yang digunakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada sebagai institusi akademik penulis. Apresiasi juga disampaikan kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) atas dukungan pendanaan yang diberikan selama masa studi hingga penyelesaian publikasi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Andani, N. D., Sasmito, B., & Hani'ah. (2018). Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Fenomena *Urban Heat Island* Dan Keterkaitannya Dengan Tingkat Kenyamanan Termal (*Temperature Humidity Index*) di Kota Semarang. *Jurnal Geodesi Undip*, 7, 53-65. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2018.21216>
- Fawzi, N. I. dan Jatmiko, R. H. 2018. Penginderaan Jauh Sistem Termal dan Aplikasinya. Penerbit Ombak. Yogyakarta.
- Hotimah, O., Zaini, N., Putri, O. F., & Husniya, S. A. (2025). Fenomena *Urban Heat Island* Dalam Perspektif Geografi Regional: Studi Perbandingan Jakarta Dan Kuala Lumpur. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, 9, 128–138.
- Jaelani, L. M., Setiawan, F., & Matsushita, B. (2015). Uji Akurasi Produk Reflektan-Permukaan Landsat Menggunakan Data In situ di Danau Kasumigaura , Jepang. *Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Ahli Penginderaan Jauh Indonesia*, 20(XX), 464–470. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1391.9446>
- Koman, W.A. F., Sabri, L. M., & Hadi, F. (2021). Analisis Surface Urban Heat Island Menggunakan Data Sentinel-3 SLSTR (Studi Kasus: Kota Semarang). *Jurnal Geodesi Undip*, 6, 1–10.
- Latue, P. C. (2023). Analisis Perubahan Suhu Permukaan Daratan di Kecamatan Ternate Tengah Menggunakan Google Earth Engine Berbasis Cloud Computing. *E-JOINT (Electronica and Electrical Journal Of Innovation Technology)*, 4(1), 16–20. <https://doi.org/10.35970/e-joint.v4i1.1901>
- Mathew, A., Aljohani, T. H., Shekar, P. R., Arunab, K. S., Sharma, A. K., Ahmed, M. F. M., Idris, U. I. A., Almohamad, H., & Abdo, H. G. (2025). Spatiotemporal dynamics of urban heat island effect and air pollution in Bengaluru and Hyderabad: implications for sustainable urban development. *Discover Sustainability*, 6(1). <https://doi.org/10.1007/s43621-025-00860-3>
- Perwita, C. A., Maryanto, S., Ghufon, M., Prakoso, M., Abigail, S., & Zamhar, U. Z. N. (2020). Korelasi Peningkatan Temperatur Permukaan Tanah dan Aktivitas Seismik di Gunung Anak Krakatau pada tahun 2018. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 11(3), 135–142. <https://doi.org/10.34126/jlbg.v11i3.315>
- Rakuasa, H., Khromykh, V. V, & Latue, P. C. (2025). Spatial Analysis of the Relationship between Vegetation Index and Land Surface Temperature in Ternate Island, Indonesia. *BIOPENDIX: Jurnal Biologi, Pendidikan Dan Terapan*, 12(1), 48–57. <https://doi.org/10.30598/biopendixvol12issue1page48-57>
- Sarzynski, T., Giam, X., Carrasco, L., & Lee, J. S. H. (2020). Combining Radar and Optical Imagery to Map Oil Palm Plantations in Sumatra, Indonesia, Using the Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(7), 1220. <https://doi.org/10.3390/rs12071220>
- Wu, Y., Wu, H., Li, S., Wu, L., Guo, C., Zhang, Z., Fan, R., Yang, X., Zhou, G., Yang, J., Yuan, P., & Luo, G. (2024). Integrating urban development and ecological sustainability: a study on land surface temperature and urban heat island effect in a Karst River Basin. *Frontiers in Built Environment*, 10. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1457347>
- Zeppo, L. V., Coltri, P. P., Dubreuil, V., Torres, G. A. L., & de Costa Trindade Amorim, M. C. (2025). Exploring the urban heat island phenomenon in a tropical medium-sized city: insights for sustainable urban development. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(4). <https://doi.org/10.1007/s10661-025-13890-1>
- Zhang, Q., Jia, B., Li, T., Yang, Y., & Fang, Y. (2025). Dynamic changes and drives of surface urban heat islands in China. *City and Environment Interactions*, 27(November 2024), 100203. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2025.100203>
- Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Deilami, K., Zhou, Y., Frolking, S., Yao, R.,

Qiao, Z., & Sobrino, J. A. (2019). Satellite remote sensing of surface urban heat islands: *Progress, challenges, and perspectives*. *Remote Sensing*, 11(1), 1–36. <https://doi.org/10.3390/rs11010048>