



Volume 11 No. 1 Januari 2026
p-ISSN: 2477-8192 dan e-ISSN: 2502-2776

Analisis Spasial Temporal dan Trend Perubahan Land Surface Temperature Menggunakan Google Earth Engine

Agus Tripaldi*, Rosmini Maru, Uca Sideng, Hasriyanti Hasriyanti,
Abdul Malik, Agussalim Djirong

Program Studi Pendidikan Geografi, Universitas Negeri Makassar

Email: agustripaldi1999@gmail.com*; rosmini.maru@unm.ac.id; ucasideng@unm.ac.id; hasriyanti@unm.ac.id; abdulmalik@unm.ac.id; agussalim_djirong@yahoo.co.id

(Received: 21 April 2025; Revised: 6 Juli 2025; Accepted: 3 Oktober 2025; Published: 2 Januari 2026)



©2026 – Jurnal Penelitian Pendidikan Geografi. Ini adalah artikel dengan akses terbuka dibawah licensi CC BY-NC-4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>).

ABSTRACT

Gorontalo City has recently experienced weather anomalies, with air temperatures reaching 35.2°C, the highest recorded in the last three decades. This study aims to describe the trend and spatial distribution of land surface temperature (LST) in Gorontalo City. Data were analyzed using Google Earth Engine through a spatial-temporal descriptive approach. The results show that the city's LST has increased, indicated by the expansion of the very high temperature category from 5% in 2014, to 40% in 2019, and 47% of the total area in 2024. This increase is more pronounced in the northern part of the city, particularly in Kota Utara and Kota Barat Districts, which exhibit the highest temperatures. The trend analysis further reveals that the very high LST class experienced the most significant rise over the 2014–2024 period (slope +1.581; $R^2 = 0.87$), while the high LST class declined due to class shifting toward very high. These findings may serve as a reference for strengthening urban green space planning and management in Gorontalo City to mitigate temperature escalation resulting from rapid land conversion and urban development.

Keywords: land surface temperature; Gorontalo City; Google Earth Engine; temperature change trends.

ABSTRAK

Kota Gorontalo mengalami anomali cuaca yang menyebabkan suhu udara kota mencapai 35,2°C. Suhu ini merupakan suhu tertinggi yang pernah tercatat dalam kurun waktu 30 tahun terakhir. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan tren dan sebaran suhu permukaan lahan di Kota Gorontalo. Data dianalisis menggunakan Google Earth Engine dengan pendekatan deskriptif spasial-temporal. Hasil dari penelitian menunjukkan Suhu Permukaan Lahan Kota Gorontalo mengalami peningkatan berdasarkan luasan kategori temperatur sangat tinggi yakni pada tahun 2014 sebesar 5%, 2019 sebesar 40%, dan 2024 sebesar 47% dari total luas Kota Gorontalo. Peningkatan suhu tersebut lebih condong ke arah utara terutama kecamatan Kota Utara dan Kota Barat yang memiliki suhu udara tertinggi. Hasil analisis tren menunjukkan bahwa kelas LST sangat tinggi mengalami kenaikan paling signifikan selama 2014–2024 (slope +1.581; $R^2 = 0,87$), sementara kelas tinggi justru menurun karena area tersebut sebagian besar berpindah ke kelas sangat tinggi. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam pengelolaan dan pembangunan ruang terbuka hijau di Kota Gorontalo untuk mengurangi dampak dari Pembangunan terhadap penambahan suhu permukaan.

Kata Kunci: suhu permukaan daratan; Kota Gorontalo; Google Earth Engine; tren perubahan suhu.

PENDAHULUAN

Iklim dapat didefinisikan sebagai kondisi rata-rata suhu udara, curah hujan, tekanan udara, arah angin, kelembaban udara dan parameter iklim lainnya dalam jangka waktu yang lama (Prasetyo dkk., 2021). Selama beberapa dekade, iklim telah diakui sebagai risiko global yang signifikan dan merupakan sebuah peringatan (Egeland, 2023). Permasalahan iklim telah berkembang dari permasalahan global menjadi permasalahan strategis yang berdampak pada kepentingan nasional suatu negara. Dengan demikian, perubahan iklim tidak lagi hanya dilihat sebagai fenomena lingkungan, tetapi juga berkaitan erat dengan pembangunan dan stabilitas sektor-sektor vital, termasuk pertanian dan ketahanan pangan nasional (Adib, 2014).

Pemanasan global merupakan fenomena yang ditandai dengan peningkatan suhu permukaan bumi akibat aktivitas manusia (aktivitas antropogenik) dan berkontribusi terhadap perubahan iklim secara global (Nurnawaty dkk., 2023). Tren pemanasan global terus menunjukkan peningkatan yang mengkhawatirkan. Pemanasan global telah meningkat lebih dari 50% sejak tahun 2010 dibandingkan dengan laju pemanasan tahun 1970 – 2010 sebesar 18°C per dekade. Suhu global telah meningkat lebih dari 0,4°C (0,7°F) selama dua tahun terakhir, rata-rata dalam 12 bulan mencapai puncaknya pada bulan Agustus 2024 sebesar +1,6°C dibandingkan dengan suhu pada awal abad terakhir (rata-rata pada tahun 1880-1920) (Hansen dkk., 2025). Salah satu faktor pendorong yang relevan, khususnya di Indonesia, adalah perubahan penggunaan lahan yang berkaitan dengan pertumbuhan permukiman dan pembangunan. Alih fungsi lahan atau dikenal juga dengan istilah konversi lahan, diartikan sebagai perubahan fungsi atau seluruh kawasan lahan dari fungsi awalnya (Prabowo dkk., 2020).

Perubahan iklim global telah memberikan dampak signifikan terhadap kondisi suhu di berbagai wilayah, termasuk Provinsi Gorontalo. Berdasarkan data historis, suhu rata-rata di Gorontalo mengalami peningkatan dari sekitar 24,1°C pada tahun 1978 menjadi 26,8°C pada tahun 2015, menunjukkan tren pemanasan yang konsisten dalam beberapa dekade terakhir (Rahmadi, 2016). Kenaikan suhu ini tidak hanya

dipengaruhi oleh faktor global, namun juga diperkuat oleh dinamika lokal seperti alih fungsi lahan, terutama konversi area vegetasi menjadi kawasan permukiman, perkantoran, dan pertokoan, yang terbukti menyumbang hingga 80,6% terhadap variasi suhu yang terjadi di wilayah perkotaan (Dunggio, 2015). Citra satelit Landsat 7 ETM+ juga mengindikasikan adanya fenomena Urban Heat Island (UHI) di kota Gorontalo, di mana suhu permukaan dapat mencapai 34,7 °C di kawasan dengan tutupan vegetasi rendah (Koto, 2016).

Dalam konteks penelitian geospasial modern, penggunaan Google Earth Engine (GEE) dalam pengamatan *Land Surface Temperature* (LST) terbukti sangat efektif, khususnya untuk studi perubahan iklim mikro dan urbanisasi di wilayah tropis seperti Indonesia. Google Earth Engine menyediakan akses langsung ke citra satelit Landsat yang memiliki kanal termal, sehingga memungkinkan perhitungan LST dalam rentang waktu panjang tanpa perlu mengunduh data secara manual. Studi oleh Pratiwi dan Jaelani (2021) di Kota Surabaya menunjukkan efektivitas GEE untuk menghitung suhu permukaan dari citra Landsat 8 selama periode 2013–2020. Dengan memanfaatkan algoritma pemrosesan termal dan indeks vegetasi (NDVI), GEE berhasil memetakan distribusi spasial panas dan menemukan bahwa area dengan dominasi lahan terbangun memiliki suhu permukaan 3–5°C lebih tinggi dibandingkan area vegetasi. Penelitian lain oleh Whidayanti dkk. (2025) di Jakarta Selatan menggunakan GEE untuk memantau efek UHI dengan mengintegrasikan LST dan NDBI (Normalized Difference Built-up Index), yang menunjukkan peningkatan suhu signifikan seiring pertumbuhan kawasan permukiman.

Keunggulan GEE dalam studi ini terletak pada kemampuannya mengelola ratusan citra secara otomatis, melakukan koreksi atmosfer, serta menghasilkan output spasial dengan resolusi tinggi dalam waktu yang jauh lebih singkat dibandingkan metode konvensional. Selain itu, GEE juga memudahkan analisis multitemporal yang esensial dalam memantau tren LST jangka panjang, seperti yang ditunjukkan oleh de Almeida dkk. (2023) di daerah pegunungan. Secara keseluruhan, GEE memungkinkan pengamatan LST yang cepat, akurat, dan efisien, serta sangat berguna untuk mendukung kebijakan mitigasi perubahan

iklim dan perencanaan tata ruang wilayah perkotaan di Indonesia.

Berdasarkan uraian dari permasalahan diatas maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan tren dan sebaran suhu permukaan lahan di Kota Gorontalo. Temuan dari penelitian ini nantinya diharapkan tidak hanya memperkuat pemahaman mengenai fenomena pemanasan lokal dan UHI, tetapi juga dapat menjadi dasar referensi bagi pemerintah daerah, perencana tata ruang, dan pemangku kepentingan lain dalam merumuskan strategi mitigasi perubahan iklim di wilayah perkotaan.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

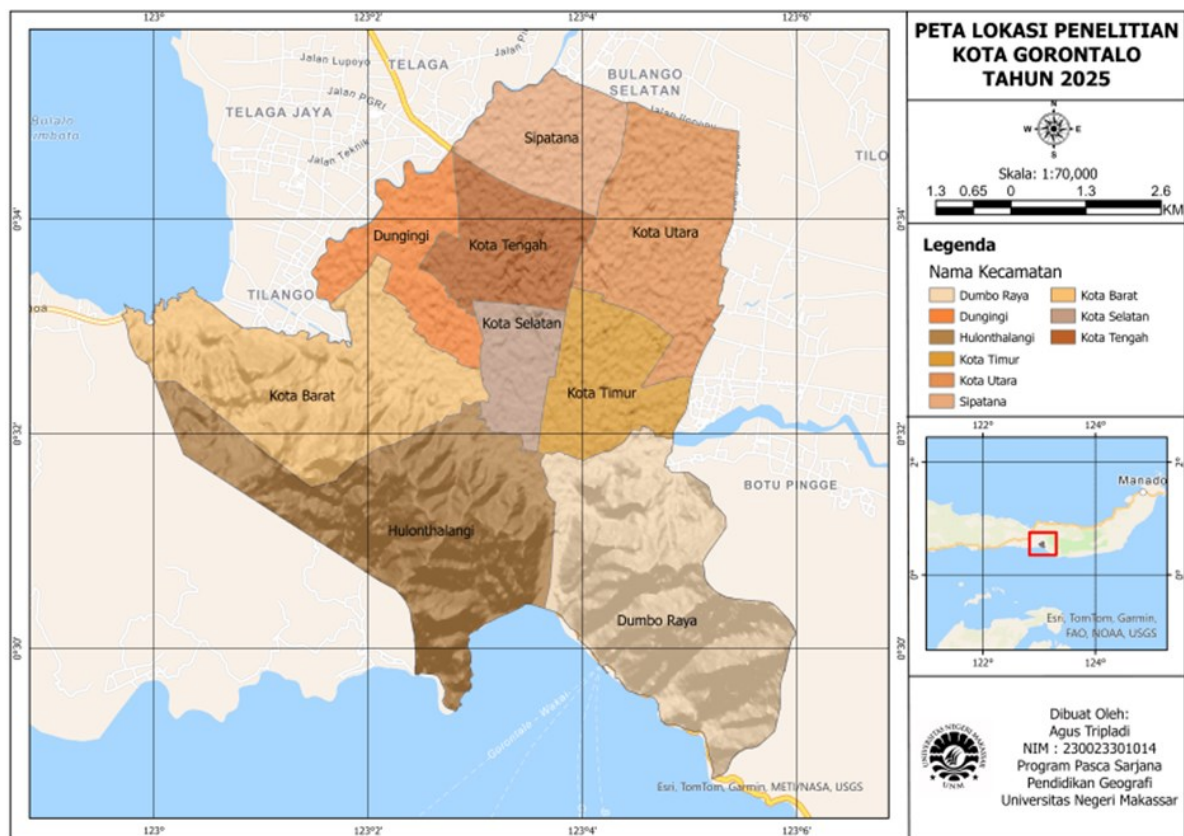
Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif spasial-temporal dengan pendekatan analisis spasial. Artinya, penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan dan mendeskripsikan kondisi berdasarkan pola sebaran ruang (lokasi/letak) serta perubahannya dalam rentang waktu tertentu. Pendekatan ini dipilih karena fokus penelitian tidak sekadar ingin mengetahui angka suhu pada satu titik waktu, tetapi juga bagaimana

suhu permukaan lahan berubah dan tersebar pada setiap area di Kota Gorontalo.

Oleh karena itu, penelitian ini tidak melakukan pengujian hipotesis, melainkan mengamati, menganalisis, dan memvisualisasikan fenomena yang terjadi, lalu menyajikan temuan dalam bentuk peta, tabel, grafik, dan narasi deskriptif yang menjelaskan dinamika suhu permukaan lahan dari waktu ke waktu.

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kota Gorontalo dengan waktu pelaksanaan penelitian pada bulan Februari 2025. Secara astronomis, Kota Gorontalo berada pada koordinat $00^{\circ} 28' 17'' - 00^{\circ} 35' 56''$ LU dan $122^{\circ} 59' 44'' - 123^{\circ} 05' 59''$ BT, dengan luas wilayah sekitar 79,59 km² yang terdiri atas 9 kecamatan. Secara geografis, Kota Gorontalo berbatasan dengan Kabupaten Bone Bolango di bagian timur dan utara, Kabupaten Gorontalo di bagian barat, serta Teluk Tomini di bagian selatan. Adapun rentang waktu observasi dalam penelitian ini didasarkan pada data citra satelit Landsat 8 pada tiga tahun pengamatan, yaitu tahun 2014, 2019, dan 2024. Adapun lokasi penelitian ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian Kota Gorontalo (Peta Rupa Bumi Indonesia, 2025)

Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini memanfaatkan Band 4, Band 5, Band 6, dan Band 10 dari citra Landsat 8 yang keseluruhannya dianalisis melalui

platform GEE. Penelitian ini menggunakan data Landsat tahun 2014, 2019, dan 2024. Adapun rincian data citra satelit yang digunakan disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data Band Landsat 8

Band	Jenis Data yang Dihasilkan	Kegunaan
Band 4 Band 5	NDVI Komposit	Band 5 (<i>Near-Infrared</i>) dan Band 4 (<i>Red</i>) digunakan untuk menghitung Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), yang merupakan indikator utama untuk memperoleh kerapatan vegetasi dan menghitung Proporsi Vegetasi.
Band 10	Top of Atmosphere (ToA) Brightness Temperature	Digunakan untuk mendapatkan estimasi LST yang lebih akurat, seringkali melalui koreksi atau sebagai input untuk menghitung Brightness Temperature.

Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Penginderaan Jauh dengan memanfaatkan platform GEE. Data utama yang diakses adalah citra satelit Landsat 8 yang ditarik dari katalog GEE untuk setiap periode. Tahap pengumpulan data dimulai dengan penentuan *Area of Interest* (AoI) dan *filtering* citra untuk menghilangkan gangguan, terutama tutupan awan, guna memastikan kualitas data. Selanjutnya, GEE digunakan sebagai alat utama untuk pengolahan data dan ekstraksi nilai. Pengolahan ini mencakup perhitungan berbagai indeks geospasial yang dibutuhkan, seperti NDVI dan perhitungan Brightness Temperature dari Band 10 yang menjadi dasar untuk mendapatkan nilai LST. Setelah ketiga jenis data ini berhasil dihitung dan diekstrak, data tersebut kemudian siap digunakan untuk analisis spasial dan temporal lebih lanjut.

Pengolahan data dalam penelitian ini berfokus pada teknik spasial-temporal, yaitu model yang secara simultan menggambarkan kejadian alam dalam dimensi geografis dan dimensi waktu. Dalam pemrosesan data, faktor ketergantungan spasial (korelasi antara wilayah observasi) dan korelasi temporal (ketergantungan sepanjang periode waktu) diperhitungkan. Observasi temporal ini diambil dalam bentuk rangkaian waktu (*time series*) yang sifatnya tidak independen (Faisal dkk., 2023).

Data NDVI, dan LST diperoleh dengan melalui beberapa tahapan yaitu konversi ToA ke Radiance, Brightness Temperature, konversi NDVI, Land Surface Emissivity, dan ekstrak LST. Adapun tahapannya dijabarkan sebagai berikut.

a. Konversi ToA ke Radiance

Perhitungan LST memerlukan konversi nilai reflektansi ToA menjadi Radiance Spektral. Reflektansi ToA adalah pengukuran kecerahan suatu objek sebagaimana diamati dari luar atmosfer bumi. Nilai ini sangat penting untuk memastikan perhitungan LST yang lebih tepat, sebab ia berperan dalam memperhitungkan efek atmosfer terhadap data citra satelit. LST itu sendiri merupakan komponen vital dalam penelitian ini karena menyediakan pengukuran yang akurat mengenai panas suhu permukaan yang dipancarkan, baik di wilayah perkotaan maupun pedesaan. LST dihitung secara tidak langsung menggunakan Brightness Temperature yang diturunkan dari nilai reflektansi ToA yang telah dikonversi menjadi Radiance. Rumus berikut dapat digunakan untuk mengonversi ToA menjadi Radiance (Firozjaei dkk., 2024).

$$L_{\lambda} = M_L * DN + AL$$

Keterangan :

L_{λ} : radiance spektral pada ToA

M_L : faktor skala radiance multiband

DN : nilai digital yang diperoleh dari citra

AL : offset radiance multiband

b. Brightness Temperature

Brightness Temperature didefinisikan sebagai suhu yang direkam oleh sensor satelit dari pita termal yang dipancarkan oleh permukaan bumi. Nilai ini merupakan hasil inversi dari Radiance Spektral menggunakan fungsi Planck dan mewakili suhu yang terukur langsung di tingkat sensor satelit sebelum dikoreksi menjadi LST. Rumus berikut dapat

digunakan untuk menentukan suhu kecerahan (Novianti dkk., 2024).

$$BT = \frac{k_2}{L_n \left(\frac{k_1}{L_\lambda} + 1 \right)}$$

Keterangan:

BT : Brightness Temperature

L_n : radiance spectral

K_1 : konstanta kalibrasi termal 1

K_2 : konstanta kalibrasi termal 2

c. Konversi Normalized Difference Vegetation Index

Normalized Difference Vegetation Index merupakan metode yang paling umum digunakan untuk mengkuantifikasi kepadatan vegetasi suatu wilayah. Metode ini berfungsi sebagai indikator vital untuk mengukur tingkat kehijauan atau aktivitas fotosintesis vegetasi. Indeks ini beroperasi berdasarkan prinsip bahwa klorofil pada vegetasi aktif akan

menyerap radiasi pada panjang gelombang merah (RED) dan secara kuat memantulkan radiasi pada panjang gelombang inframerah dekat (NIR). Nilai NDVI berkisar antara -1 hingga $+1$. Nilai yang mendekati nol menunjukkan objek non-vegetasi, seperti tanah gundul atau area terbangun. Sebaliknya, nilai positif (rentang 0 hingga $+1$) mengindikasikan kehadiran vegetasi, di mana nilai yang semakin mendekati $+1$ merefleksikan kerapatan dan kesehatan vegetasi yang semakin tinggi. NDVI dihitung menggunakan persamaan dibawah ini. Sedangkan klasifikasi NDVI dibagi berdasarkan Tabel 2 berikut.

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

Keterangan:

$NDVI$: Normalized Vegetation Index

NIR : Band 5

RED : Band 6

Tabel 2. Klasifikasi Normalized Difference Vegetation Index

Rentang Nilai NDVI	Keterangan
$-1 - 0,12$	Non vegetasi
$0,12 - 0,22$	Vegetasi sangat rendah
$0,22 - 0,42$	Vegetasi rendah
$0,42 - 0,72$	Vegetasi sedang
$0,72 - 1$	Vegetasi sangat tinggi

Sumber: Marlina, 2022.

d. Land Surface Emissivity

Perkiraan LST yang lebih akurat menuntut perhitungan Land Surface Emissivity (LSE). Land Surface Emissivity mencirikan efektivitas suatu permukaan dalam mentransmisikan energi panas, dengan nilai yang bervariasi bergantung pada sifat material dan permukaan yang diukur. Penentuan LSE mempermudah identifikasi wilayah dengan emisi panas yang lebih tinggi. Di daerah perkotaan, LSE yang rendah dapat menyebabkan peningkatan suhu yang signifikan karena permukaan tersebut mengeluarkan energi panas lebih sedikit dari yang diperkirakan.

Perhitungan LSE dilakukan dalam dua tahap utama, diawali dengan perhitungan Proporsi Vegetasi (P_v), kemudian diikuti dengan perhitungan LSE (Sobrino dkk., 2008). Nilai P_v diturunkan NDVI yang ditentukan dengan mengukur respons klorofil terhadap penyerapan panjang gelombang merah dan refleksi panjang gelombang inframerah. Nilai

NDVI berkisar antara -1 hingga $+1$; nilai positif (0 hingga $+1$) mengindikasikan vegetasi, dan nilai yang semakin mendekati 1 menunjukkan vegetasi yang semakin hijau dan rapat.

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} + NDVI_{min}} \right)$$

Keterangan:

P_v : proporsi vegetasi

$NDVI$: nilai NDVI yang dianalisis

$NDVI_{min}$: nilai NDVI minimum

$NDVI_{max}$: nilai NDVI maksimum

Setelah P_v diperoleh, LSE (ϵ) dihitung menggunakan model yang mempertimbangkan kontribusi vegetasi dan tanah gundul terhadap total emisivitas permukaan. Rumus ini didasarkan pada model yang dikembangkan oleh Sobrino dkk. (2008):

$$\epsilon = m P_v + n$$

Keterangan

ε : land surface emissivity

m : 0,004

n : 0,986

e. Land Surface Temperature

Suhu Permukaan Tanah didefinisikan sebagai suhu di mana permukaan bumi memancarkan energi panas. LST adalah variabel biofisik kunci yang dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan dan permukaan. Beberapa variabel utama yang memengaruhi suhu permukaan meliputi jenis tutupan lahan (seperti ladang, hutan, atau kawasan perkotaan), penggunaan lahan, vegetasi, kelembaban tanah, dan sifat fisik material permukaan.

Secara umum, LST cenderung lebih tinggi pada material yang memiliki sifat kering dan gelap karena material tersebut memiliki kemampuan absorpsi dan retensi panas yang lebih tinggi. Fenomena ini seringkali

menyebabkan LST menjadi lebih tinggi di kawasan perkotaan (UHI). Hal ini terjadi karena material permukaan perkotaan, seperti beton dan aspal, memiliki kapasitas untuk menahan dan memancarkan lebih banyak panas dibandingkan dengan permukaan alami yang ditemukan di kawasan pedesaan. Nilai LST dihitung menggunakan persamaan berikut (Firozjaei dkk., 2024). Sedangkan pembagian kelas LST ditunjukkan pada Tabel 3.

$$LST = \frac{BT}{(1 + (\lambda \frac{BT}{C_2}) \ln(\varepsilon))}$$

Keterangan:

LST : land surface temperature

BT : brightness temperature

λ : panjang gelombang efektif termal

C_2 : konstanta Planck kedua
($\approx 14388 \mu\text{mK}$)

ε : land surface emissivity

Tabel 3. Klasifikasi Land Surface Temperature

Suhu (°C)	Keterangan
< 20	Sangat rendah
25 – 20	Rendah
25 – 30	Sedang
30 – 35	Tinggi
> 35	Sangat tinggi

Sumber: Mahardianti dkk., 2024.

Teknik Analisis Data

Analisis spasial-temporal dilakukan dengan membandingkan luasan wilayah untuk setiap kelas LST pada setiap periode pengamatan, serta memetakan distribusinya menurut wilayah administratif kecamatan. Pendekatan ini dimaksudkan untuk melihat dinamika perubahan luas area kelas suhu, sehingga tren perubahan termal dapat dibaca secara kuantitatif. Dengan cara ini, perubahan suhu tidak hanya direpresentasikan oleh angka rata-rata, tetapi juga oleh seberapa luas area yang bertransformasi.

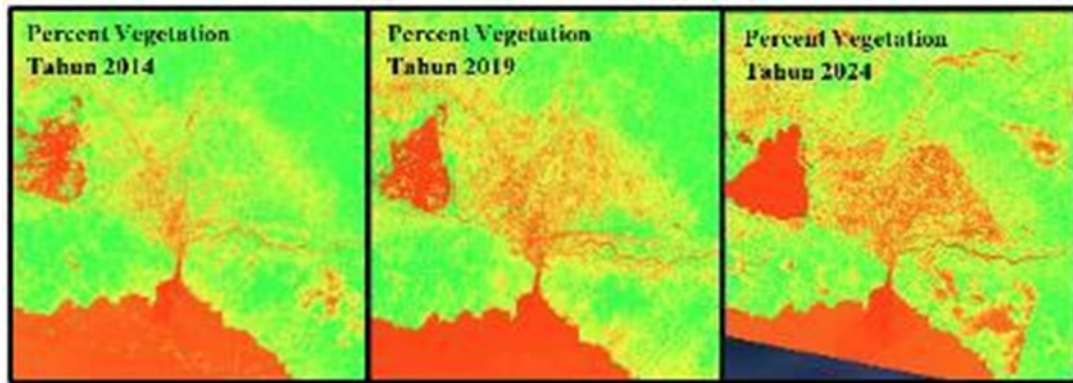
Regresi linier sederhana juga diterapkan untuk menguji tren perubahan LST antar tahun. Pendekatan Least Square digunakan untuk menghitung nilai *slope* serta nilai koefisien determinasi (R^2) untuk setiap tahun pengamatan. Nilai *slope* menunjukkan arah dan derajat kecenderungan perubahan, sedangkan R^2 memberikan informasi mengenai kekuatan hubungan antara variabel waktu dan perubahan

suhu permukaan. Dengan demikian, regresi linier berfungsi sebagai validasi statistik tambahan untuk memastikan bahwa perubahan yang terlihat secara spasial memiliki tren temporal yang signifikan.

Walaupun penelitian ini belum melakukan komparasi langsung dengan data pengamatan suhu dari stasiun cuaca, hasil pemetaan spasial dan uji statistik ini cukup menggambarkan secara cukup jelas pola peningkatan suhu permukaan dari tahun ke tahun yang terjadi di Kota Gorontalo.

HASIL PENELITIAN

Pengolahan data citra satelit untuk tahun 2014, hingga 2024 yang dilakukan menggunakan platform GEE menghasilkan citra tematik kunci yang menjadi dasar analisis perubahan suhu permukaan. Adapun data dua citra utama yang diperoleh adalah P_v (Gambar 2) dan ε (Gambar 5) sebagai berikut.



Gambar 2. Proporsi Vegetasi

Berdasarkan Gambar 2, yang menyajikan proyeksi vertikal, P_v menunjukkan persentase permukaan bumi yang ditutupi oleh vegetasi. Nilai P_v berkisar dari -1 , yang mengindikasikan tidak adanya vegetasi, hingga $+1$, di mana nilai yang semakin mendekati $+1$ menunjukkan vegetasi yang semakin hijau.

Penentuan emisivitas permukaan dalam perhitungan LST pada fungsi GEE sangat bergantung pada parameter ini. Peta klasifikasi NDVI yang dihasilkan dari citra P_v memperlihatkan adanya peningkatan kawasan tidak bervegetasi yang signifikan pada periode 2019 hingga 2024 (Gambar 3).



Gambar 3. Peta Kerapatan Vegetasi

Peta yang dihasilkan mengindikasikan bahwa tingkat kepadatan vegetasi di Kota Gorontalo memiliki variasi yang cukup beragam yang dipengaruhi oleh perbedaan penggunaan lahan. Terdapat pergeseran dominasi kepadatan vegetasi selama periode pengamatan. Pada tahun 2014, NDVI didominasi oleh kepadatan rendah (70%),

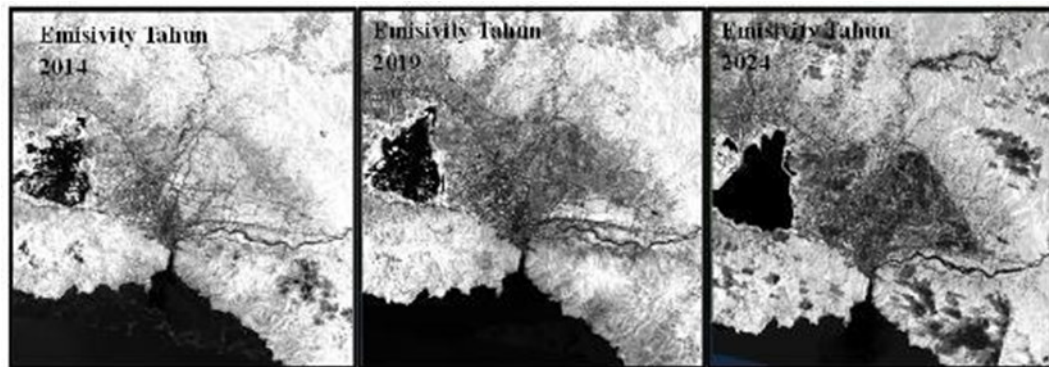
sementara kepadatan sedang hanya mencakup 1%. Dominasi kepadatan rendah menurun pada tahun 2019 (58%), diikuti oleh peningkatan signifikan pada kepadatan sangat rendah (29%). Tren ini berlanjut hingga tahun 2024, di mana kepadatan rendah kembali menurun (40%), namun disertai peningkatan kepadatan sedang (14%) (Gambar 4).



Gambar 4. Distribusi Kelas Kerapatan Vegetasi

Emisivitas menunjukkan kapasitas suatu benda untuk memancarkan radiasi inframerah. Parameter ini sangat penting dan krusial dalam pengolahan data karena berfungsi untuk mengkonversi pembacaan suhu radiasi yang

direkam oleh sensor menjadi nilai LST secara akurat. Emisivitas dikalkulasi menggunakan data citra satelit dan divisualisasikan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 di bawah ini.



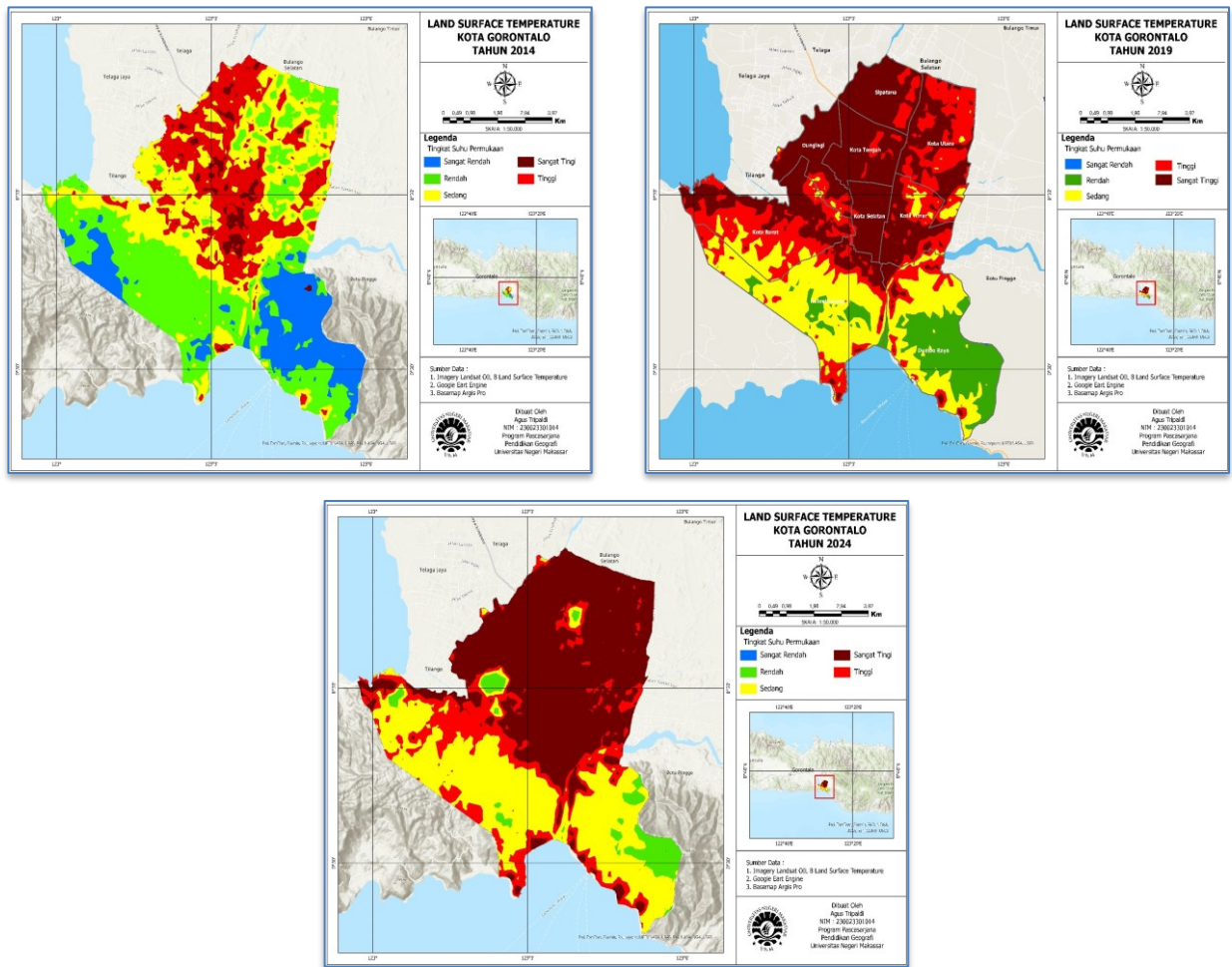
Gambar 5. Emisivitas

Berdasarkan Gambar 5 yang disajikan menampilkan peta perubahan nilai Emisivitas Permukaan untuk wilayah studi pada tiga periode waktu berbeda. Emisivitas menggambarkan kemampuan permukaan bumi dalam memancarkan energi radiasi inframerah yang nilainya sangat dipengaruhi oleh jenis tutupan lahan. Secara umum, warna gelap pada peta mengindikasikan nilai emisivitas yang rendah yang cenderung berkorelasi dengan permukaan buatan seperti bangunan, jalan aspal, atau lahan terbuka tanpa penutup vegetasi. Sebaliknya, warna terang merefleksikan emisivitas yang tinggi, yang umumnya terkait dengan permukaan vegetatif seperti hutan, lahan pertanian, atau lahan basah.

Analisis komparatif spasial menunjukkan dinamika penggunaan lahan yang signifikan. Pada tahun 2014, wilayah dengan emisivitas rendah masih terkonsentrasi di area tengah dan barat laut, mencerminkan dominasi kawasan terbangun yang belum terlalu meluas. Namun, pada tahun 2019, terlihat ekspansi signifikan area dengan emisivitas rendah, khususnya di bagian tengah hingga utara wilayah yang mengindikasikan adanya peningkatan intensif aktivitas urbanisasi atau pengurangan drastis tutupan vegetasi. Menariknya, pada tahun 2024, teramati adanya kecenderungan peningkatan emisivitas di beberapa bagian wilayah. Fenomena ini dapat disebabkan oleh pemulihan vegetasi,

perbedaan kondisi musim saat akuisisi citra, atau program penghijauan lokal, meskipun wilayah terbangun tetap dominan di bagian tengah dan barat. Secara keseluruhan, peta ini memvisualisasikan dinamika spasial emisivitas permukaan selama satu dekade terakhir yang penting sebagai informasi dalam kajian perubahan iklim lokal, fenomena UHI, serta perencanaan pembangunan wilayah yang berkelanjutan.

Suhu Permukaan Tanah adalah variabel biofisik kunci yang didefinisikan sebagai suhu di mana permukaan bumi memancarkan energi panas. Suhu Permukaan Tanah tahun 2014, 2019, dan 2024 merupakan hasil utama penelitian ini yang digunakan untuk menganalisis sebaran panas spasial di Kota Gorontalo. Indikator dan faktor utama yang memengaruhi variasi LST meliputi jenis tutupan lahan, kepadatan vegetasi (seperti yang ditunjukkan oleh NDVI), kelembaban tanah, dan karakteristik material permukaan. Klasifikasi LST dibagi menjadi lima kelas utama sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 3. Warna biru menunjukkan nilai LST sangat rendah, warna hijau menunjukkan LST rendah, warna kuning menunjukkan LST sedang, warna merah menunjukkan LST tinggi, dan warna merah maron menunjukkan LST yang sangat tinggi. Adapun hasil peta LST di Kota Gorontalo untuk tahun 2014, 2019, dan 2024 ditunjukkan pada Gambar 6 di bawah ini.

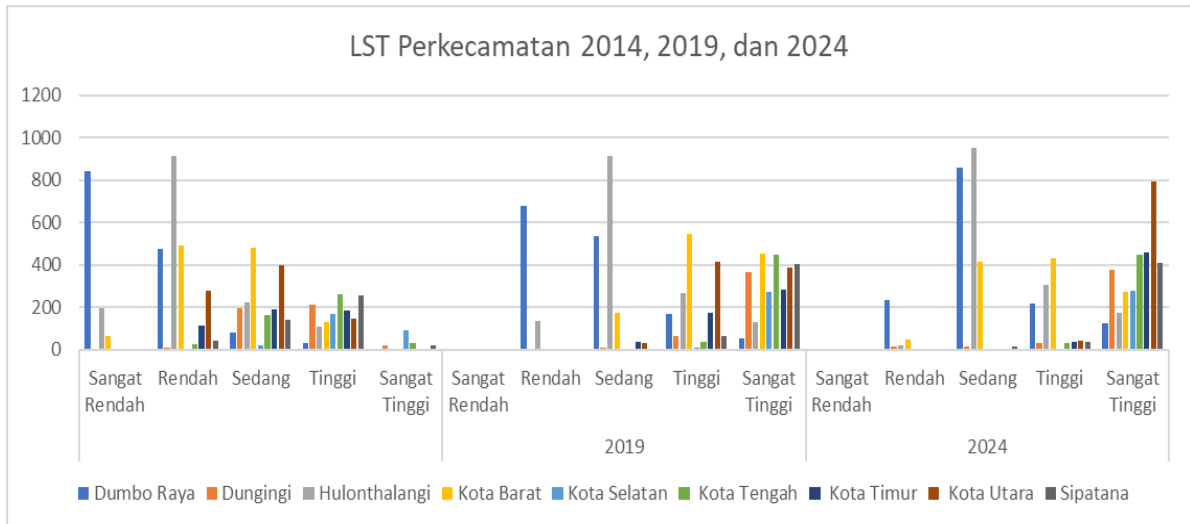


Gambar 6. Peta Lands Surface Temperature 2014, 2019, dan 2024

Analisis peta LST (Gambar 6) menunjuk-kan bahwa suhu permukaan di Kota Gorontalo sangat bervariasi pada tahun 2014 yang tersebar dari klasifikasi sangat rendah hingga sangat tinggi di seluruh wilayah. Sebaran suhu didominasi oleh klasifikasi rendah (33%) dan sedang (27%, terutama di bagian tengah dan utara), diikuti oleh klasifikasi sangat rendah (16%, terutama di barat dan timur), tinggi (21%), dan sangat tinggi (3%).

Namun, terjadi perubahan signifikan pada tahun-tahun berikutnya. Pada tahun 2019, klasifikasi sangat rendah menghilang (0%), dengan mayoritas wilayah bergeser ke klasifikasi rendah (11%). Sementara itu, wilayah yang sebelumnya berkategori rendah (di timur, barat, dan selatan) naik ke klasifikasi sedang (24%). Perubahan paling mencolok adalah peningkatan drastis sebesar 40% pada kategori sangat tinggi, yang terkonsentrasi di wilayah tengah kota.

Dinamika ini berlanjut pada tahun 2024, di mana klasifikasi sangat tinggi kembali meningkat drastis hingga mencapai proporsi 47% dan meluas dari bagian tengah hingga hampir mencakup seluruh wilayah utara. Klasifikasi sedang juga meningkat menjadi 32% di bagian timur, sedangkan klasifikasi tinggi naik di bagian barat menjadi 16%. Sebaliknya, klasifikasi rendah mengalami penurunan signifikan menjadi hanya 3%. Perubahan persentase dan sebaran spasial ini mengindikasikan intensifikasi UHI di Kota Gorontalo. Peningkatan signifikan luasan area dengan suhu sangat tinggi ini berkorelasi kuat dengan pengurangan tutupan vegetasi dan peningkatan area terbangun. Tren perubahan kategori LST ini kemudian dianalisis lebih lanjut untuk melihat pergeseran luasan setiap kelas pada periode pengamatan berdasarkan Kecamatan. Adapun luasan area LST disajikan sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 7 berikut.



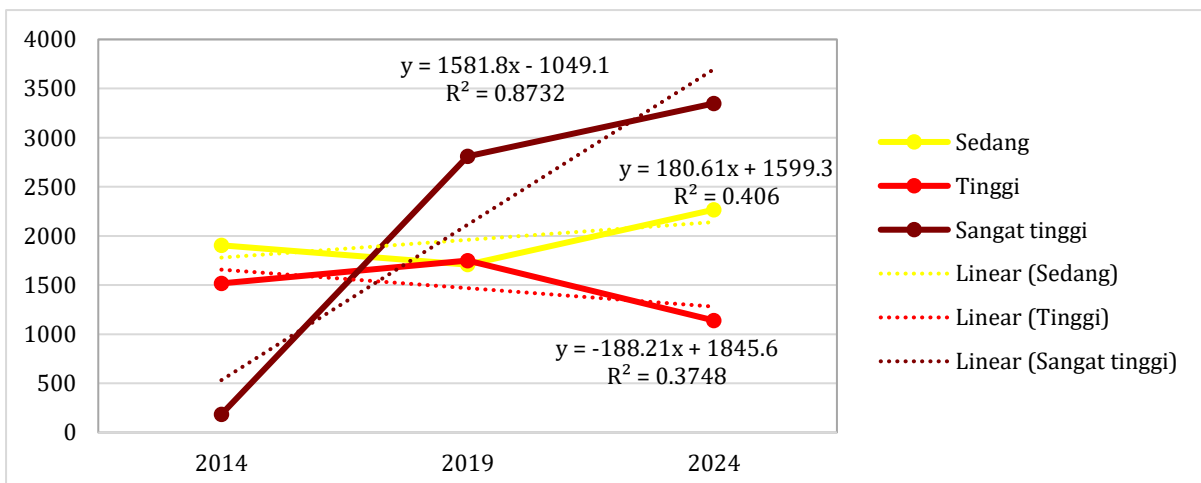
Gambar 7. Persebaran Land Surface Temperature Berdasarkan Kecamatan

Pada tahun 2014, klasifikasi suhu sangat rendah terdistribusikan merata di seluruh wilayah Kecamatan Dumbo Raya, Hulonthalangi, Kota Barat, Kota Timur, dan Kota Utara, dengan Kecamatan Dumbo Raya menjadi wilayah terluas yang didominasi oleh klasifikasi ini. Klasifikasi rendah tersebar di seluruh kecamatan kecuali Kota Selatan, di mana Kecamatan Hulonthalangi mencatatkan luasan tertinggi. Sementara itu, klasifikasi sedang, tinggi, dan sangat tinggi tersebar di seluruh kecamatan, dengan wilayah yang memiliki nilai tertinggi masing-masing adalah Kota Barat (sedang), Kota Tengah (tinggi), dan Kota Selatan (sangat tinggi).

Pada tahun 2019, sebaran klasifikasi suhu mengalami pergeseran. Hanya Kecamatan Dumbo Raya yang memperoleh klasifikasi sangat rendah. Klasifikasi rendah ditemukan di Kecamatan Dumbo Raya dan Hulonthalangi. Klasifikasi sedang tersebar di beberapa kecamatan kecuali Kota Selatan, Kota Tengah,

dan Sipatana, dengan Kecamatan Hulonthalangi memperoleh nilai tertinggi. Seluruh kecamatan memiliki klasifikasi tinggi dan sangat tinggi, dengan Kecamatan Kota Barat mencatatkan nilai tertinggi pada kedua klasifikasi tersebut.

Pada tahun 2024, klasifikasi sangat rendah hanya ditemukan pada Kecamatan Dumbo Raya. Klasifikasi rendah tersebar di Kecamatan Dumbo Raya, Duingi, Hulonthalangi, Kota Barat, dan Sipatana, dengan Kecamatan Dumbo Raya kembali mencatatkan nilai tertinggi. Klasifikasi tinggi tersebar di seluruh kecamatan kecuali Kota Selatan, dengan skor tertinggi dicatatkan oleh Kota Barat. Klasifikasi sedang tersebar di seluruh kecamatan kecuali Kota Selatan dan Kota Utara, dengan skor tertinggi diperoleh oleh Hulonthalangi. Terakhir, klasifikasi sangat tinggi tersebar di seluruh kecamatan, di mana Kota Utara mencatatkan nilai tertinggi.



Gambar 8. Trend Land Surface Temperature

Diagram tren LST dari tahun 2014 hingga 2024 memvisualisasikan perubahan jumlah piksel di tiga kelas suhu permukaan teratas: sedang, tinggi, dan sangat tinggi (Gambar 8). Secara umum, kelas sedang (garis kuning) menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan dari tahun ke tahun. Tren linier pada kelas ini menghasilkan R^2 sebesar 0.406, yang menandakan adanya penambahan wilayah bersuhu sedang, meskipun laju peningkatannya tergolong tidak terlalu signifikan. Sebaliknya, kelas tinggi (garis merah) justru menunjukkan tren yang menurun dengan R^2 sebesar 0.3748, mengindikasikan bahwa luasan area dengan suhu tinggi mengalami penyusutan seiring berjalannya waktu.

Fenomena paling mencolok dan menjadi perhatian utama adalah peningkatan drastis pada kelas sangat tinggi (garis coklat tua) selama periode 2014 hingga 2024. Garis tren linier untuk kelas ini memperlihatkan pertumbuhan yang sangat tajam, didukung oleh koefisien R^2 sebesar 0.8732. Nilai R^2 yang tinggi ini mengonfirmasi bahwa tren peningkatan luasan wilayah dengan suhu permukaan sangat tinggi tersebut bersifat sangat kuat dan konsisten. Kondisi ini mengindikasikan bahwa wilayah dengan suhu permukaan ekstrem semakin meluas secara signifikan dari waktu ke waktu, yang kemungkinan besar dipicu oleh peningkatan pesat area terbangun, penurunan tutupan vegetasi, dan intensifikasi efek UHI.

Secara keseluruhan, grafik ini memberikan bukti visual adanya pergeseran distribusi suhu permukaan dari kelas suhu sedang dan tinggi menuju konsentrasi pada kelas suhu sangat tinggi. Pergeseran ini menjadi indikasi penting meningkatnya tekanan lingkungan akibat perubahan penggunaan lahan dan pemanasan lokal di Kota Gorontalo. Tren yang kuat ini menekankan urgensi pengelolaan tata ruang yang lebih baik dan implementasi upaya mitigasi perubahan iklim di tingkat lokal.

PEMBAHASAN

Proporsi Vegetasi digunakan untuk mengukur partisipasi tutupan vegetasi pada permukaan bumi dengan nilai berkisar dari -1 hingga 1. Nilai positif menunjukkan keberadaan vegetasi sedangkan nilai negatif mengindikasikan non-vegetasi. Hasil analisis P_v Kota Gorontalo menunjukkan terjadinya degradasi vegetasi yang konsisten dalam 10

tahun. Pada 2014, vegetasi berkepadatan rendah mendominasi hingga mencapai 70%, namun turun menjadi 58% pada 2019 dan kembali turun hingga 40% pada 2024. Pada saat yang sama, kategori non-vegetasi meningkat dari 8% (2014) menjadi 13% (2019) dan akhirnya mencapai 24% (2024). Pola ini menunjukkan proses konversi lahan yang progresif menuju kawasan terbangun.

Pola LST Kota Gorontalo 2014 masih sangat bervariasi, dimana kategori sangat rendah masih mencapai 16%. Namun pada 2019 kategori ini menghilang (0%). Pada wilayah utara terjadi peningkatan tajam kelas “sangat tinggi” mencapai 40%. Puncaknya tahun 2024, kelas sangat tinggi mencapai 47% dari total wilayah, menunjukkan intensifikasi pemanasan permukaan dan proses urbanisasi yang semakin kuat.

Fenomena ini konsisten dengan hasil-hasil studi di Asia Tenggara yang menunjukkan bahwa penurunan vegetasi dan peningkatan lahan terbangun memberikan dampak langsung terhadap peningkatan LST (Rahman, 2016; Shawky dkk., 2023; Prayuda dan Kusuma, 2023; Maheng dkk., 2024; Sianturi dkk., 2024; Liu dkk., 2024; Rahmi dkk., 2024). Beberapa studi lainnya menunjukkan bahwa pola yang paling kuat memprediksi peningkatan LST adalah hilangnya vegetasi berkanopi (*tree canopy*) lalu diganti oleh infrastruktur keras (beton, aspal, atau atap seng) (Estoque dan Murayama, 2017; Shih dkk., 2020; Yang dkk., 2021). Dengan demikian, pola Kota Gorontalo selaras dengan fenomena global bukan merupakan kasus unik.

Pertumbuhan penduduk ikut memperkuat dinamika ini. Studi di wilayah urban China menunjukkan bahwa pertumbuhan kota dan ekspansi lahan secara langsung meningkatkan LST (Yu dkk., 2024). Di Indonesia pula, pada kota yang mengalami lonjakan kepadatan penduduk ditemukan kenaikan LST yang signifikan dalam dua dekade terakhir (Apriana dan Syahrani, 2022). Di kota menengah Indonesia seperti Makassar, Banjarmasin, Gorontalo, Baubau, dan Kendari juga menunjukkan efek LST yang meningkat 2,5–5,3°C akibat urbanisasi tidak terkendali (Adiyatma dkk., 2022; Arifin dkk., 2022; Aldiansyah dan Wardani, 2023; Nurgiantoro dkk., 2025). Oleh karena itu kondisi Kota Gorontalo bukan anomali, tetapi sesuai *urban climate trajectory* kota menengah berkembang di Indonesia.

Kelas sangat rendah tahun 2014 mendominasi Dumbo Raya dan Hulonthalangi. Pada 2019, area sangat rendah tersisa hanya di bagian kecil Dumbo Raya dan pada saat yang sama Kota Barat didominasi kategori sangat tinggi. Tahun 2024 kelas sangat tinggi menyebar hampir di semua kecamatan, dengan puncak pada Kota Utara. Hal ini sejalan dengan arah kebijakan Pemerintah Kota yang menempatkan Kota Utara sebagai pusat jasa, perdagangan, dan perumahan sebagaimana tercantum dalam dokumen perencanaan daerah yang berefek langsung pada hilangnya luasan vegetasi.

Menarik bahwa bagian Dumbo Raya tetap memiliki porsi rendah yang mengindikasikan bahwa keberadaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) dan tutupan vegetasi yang masih terjaga mampu mereduksi absorpsi panas permukaan. Beberapa studi menunjukkan bahwa *urban park*/RTH memberikan efek pendinginan permukaan yang besarnya berkisar dari sekitar 0.3°C - $>2^{\circ}\text{C}$ dan biasanya terdeteksi dalam radius ratusan meter dari batas taman. Efek ini cenderung lebih kuat untuk taman yang lebih besar dan terhubung secara kontinu (misalnya $>5-10$ ha) yang menunjukkan jangkauan pendinginan hingga beberapa ratus meter (Aram dkk., 2019; Gao dkk., 2023; Guo dkk., 2024). Artinya, mempertahankan vegetasi wilayah Dumbo Raya bukan sekadar persoalan estetika, tetapi menjadi fungsi klimatologi mikro.

Secara keseluruhan, tren yang terlihat menunjukkan kenaikan suhu permukaan yang semakin intens dalam sepuluh tahun terakhir, yang sejalan dengan meningkatnya konversi lahan dan aktivitas urbanisasi di Kota Gorontalo. Berkurangnya wilayah dengan klasifikasi LST rendah serta meningkatnya dominasi wilayah dengan klasifikasi tinggi dan sangat tinggi menegaskan bahwa penurunan tutupan vegetasi menjadi faktor penentu utama kenaikan LST, sebagaimana juga ditemukan pada berbagai penelitian di Asia Tenggara dan Indonesia. Dengan kata lain, peningkatan jumlah penduduk, pertumbuhan permukiman, dominasi material penyerap panas seperti beton dan aspal, serta penurunan kualitas RTH secara langsung memicu UHI *effect*. Kondisi ini perlu mendapat perhatian dalam penyusunan kebijakan tata ruang dan lingkungan karena peningkatan LST akan berdampak pada kenyamanan termal masyarakat, risiko kesehatan ketika terjadi gelombang panas, serta

tekanan terhadap sektor ekonomi berbasis lingkungan seperti pertanian dan perikanan urban. Oleh karena itu, integrasi kajian LST dalam rencana tata ruang (RTRW maupun RDTR) menjadi sangat relevan sebagai dasar intervensi berbasis spasial untuk mengendalikan pemanasan permukaan di masa mendatang.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil. Pertama, penggunaan dataset tahunan dari GEE membuat analisis ini tidak menangkap variasi musiman, padahal dinamika suhu di daerah tropis sangat dipengaruhi oleh musim hujan dan kemarau. Kedua, resolusi spasial citra Landsat 30 meter menyebabkan detail perubahan pada skala mikro (misalnya blok permukiman kecil, taman lingkungan, atau area perumahan padat) tidak tertangkap secara optimal. Ketiga, pengaruh tutupan awan dapat memengaruhi keakuratan ekstraksi nilai LST, terutama pada lokasi dan tahun yang banyak ditutupi awan. Keempat, penelitian ini belum mengintegrasikan variabel lain seperti *impervious surface index*, indeks tutupan pohon (*tree canopy*), dan kerapatan bangunan, sehingga keterkaitan kausal antar variabel masih perlu diuji lebih lanjut dengan pendekatan multivariat. Meskipun demikian, hasil penelitian ini tetap memberikan gambaran pola sebaran pemanasan permukaan dan arah kecenderungan perubahan yang cukup kuat, serta dapat menjadi baseline awal bagi penelitian lanjutan yang lebih detail, baik secara temporal maupun spasial.

KESIMPULAN

Suhu permukaan Kota Gorontalo meningkat secara signifikan antara tahun 2014 hingga 2024. Peningkatan suhu ini bergerak dari kategori rendah ke kategori tinggi dan sangat tinggi. Peningkatan suhu paling tinggi terjadi di wilayah utara kota, khususnya yang berada di wilayah Kecamatan Kota Utara dan Kota Barat. Di sisi lain, meskipun terdapat indikasi pergeseran pada tahun 2024, namun suhu permukaan di Kecamatan Dumbo Raya masih tergolong rendah dan sangat rendah. Strategi perencanaan tata ruang yang lebih berkelanjutan diperlukan dalam konteks ini seperti penciptaan RTH dan pengelolaan konversi lahan diperlukan mengingat pola ini menggambarkan dampak urbanisasi dan menurunnya tutupan tanaman di masa yang akan datang.

SARAN

Saran penelitian lanjutan dapat diarahkan pada penguatan analisis jangka panjang dengan rentang multi-dekade agar dinamika perubahan termal wilayah Kota Gorontalo dapat dibaca lebih robust dan tidak hanya terbatas pada snapshot antar tahun tertentu. Pendekatan multi-dekade ini sangat memungkinkan secara teknis karena GEE menyediakan arsip historis Landsat sejak awal 1980-an dan dapat diolah secara sistematis. Selain itu, kajian pada resolusi temporal yang mempertimbangkan variasi musiman (kemarau/hujan) perlu dipertimbangkan karena pola temperatur permukaan sangat dipengaruhi oleh fluktuasi tutupan awan, kondisi kelembapan, serta dinamika fenologi vegetasi musiman, sehingga analisis hanya pada tahun tertentu (*annual mosaic*) bisa kehilangan informasi intra-annual yang penting.

Penggunaan data resolusi spasial lebih tinggi (misal Landsat Collection 2, Sentinel-2 10 m untuk *proxy* NDBI/NDVI) kedepan dapat memperkaya ketelitian interpretasi terutama pada konteks kota menengah yang memiliki blok infrastruktur skala kecil. Terakhir, kajian LST sebaiknya diintegrasikan dengan indikator lain yang bersifat multifaktor seperti indeks vegetasi, indeks kekedapan lahan terbangun, indeks air dan densitas penduduk, agar model hubungan driver perubahan LST menjadi lebih komprehensif dan dapat menguatkan argumentasi ilmiah dan basis rekomendasi kebijakan tata ruang kota. Dengan demikian, penelitian selanjutnya dapat menghasilkan analisis perubahan suhu permukaan yang tidak hanya spasial dan temporal, namun juga integratif dan multivariabel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Prof. Rosmini Maru, S.Pd., M.Si., Ph.D., selaku pembimbing I dan bapak Prof. Uca. S.Si., MP., Ph.D., selaku pembimbing II, serta *reviewer* dan editor Jurnal Penelitian dan Pendidikan Geografi.

DAFTAR PUSTAKA

Adib, M. (2014). Pemanasan Global, Perubahan Iklim, Dampak dan Solusinya di Sektor Pertanian. *BioKultur*, 3(2), 420-429.

Adyatma, S., Muhaimin, M., Arisanty, D., and Hastuti, K. P. (2022). The Effect of Built-Up Area Density and Vegetation Density

on Surface Temperature in Banjarmasin City. *International Journal of Forestry Research*, 2022(1), 2585719. <https://doi.org/10.1155/2022/2585719>

Aldiansyah, S., dan Wardani, F. (2023). Analisis Spasio-Temporal Fenomena Urban Heat Island dan Hubungannya Terhadap Aspek Fisik di Kota Makassar (1993-2021). *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 24(1), 1-11.

Apriana, M., and Syahrani, E. (2022). Land Surface Temperature and Its Relationship to Population Density. *Journal of Applied Geospatial Information*, 6(1), 569-575. <https://doi.org/10.30871/jagi.v6i1.1936>

Aram, F., Garcia, E. H., Solgi, E., and Mansournia, S. (2019). Urban Green Space Cooling Effect in Cities. *Heliyon*, 5(4), e01339. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01339>

Arifin, S. S., Hamzah, B., Mulyadi, R., dan Rasyid, A. R. (2022). Effects of Vegetation on Urban Heat Island Using Landsat 8 OLI/TIRS Imagery in Tropical Urban Climate. *Civil Engineering and Architecture*, 10(1), 395-405. <https://doi.org/10.13189/cea.2022.100134>

de Almeida, C. R., Garcia, N., Campos, J. C., Alirio, J., Arenas-Castro, S., Gonçalves, A., ... and Teodoro, A. C. (2023). Time-Series Analyses of Land Surface Temperature Changes with Google Earth Engine in a Mountainous Region. *Heliyon*, 9(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18846>

Dunggio, M. F. (2015). Pengaruh Alih Fungsi Lahan Terhadap Perubahan Iklim di Kota Gorontalo. *Skripsi*. Universitas Negeri Gorontalo.

Egeland, K. (2023). Climate Security Reversed: The Implications of Alternative Security Policies for Global Warming. *Environmental Politics*, 32(5), 883-902. <https://doi.org/10.1080/09644016.2022.2146934>

Estoque, R. C., and Murayama, Y. (2017). Monitoring Surface Urban Heat Island Formation in a Tropical Mountain City Using Landsat Data (1987-2015). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 133, 18-29.

- <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.09.008>
- Faisal, A. A., Priyana, Y., Danardono, D., Taryono, T., dan Rudiyanto, R. (2023). Analisis Spasial Temporal Alih Fungsi Lahan Pertanian (Sawah) Ke Non Pertanian Tahun 2012-2021 di Kecamatan Widodaren, Kabupaten Ngawi. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 10(1), 37–47. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.1.4>
- Firozjaei, M. K., Mijani, N., Fatholouloumi, S., and Arsanjani, J. J. (2024). Forecasting Spatiotemporal Dynamics of Daytime Surface Urban Cool Islands in Response to Urbanization in Drylands: Case Study of Kerman and Zahedan Cities, Iran. *Remote Sensing*, 16(23), 4416. <https://doi.org/10.3390/rs16234416>
- Gao, Y., Pan, H., and Tian, L. (2023). Analysis of the Spillover Characteristics of Cooling Effect in an Urban Park: A Case Study in Zhengzhou City. *Frontiers in Earth Science*, 11, 1133901. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1133901>
- Guo, A., Yue, W., Yang, J., Li, M., Zhang, Z., Xie, P., ... and He, T. (2024). Quantifying the Cooling Effect and Benefits of Urban Parks: A Case Study of Hangzhou, China. *Sustainable Cities and Society*, 113, 105706. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105706>
- Hansen, J. E., Kharecha, P., Sato, M., Tselioudis, G., Kelly, J., Bauer, S. E., Ruedy, R., Jeong, E., Jin, Q., Rignot, E., Velicogna, I., Schoeberl, M. R., von Schuckmann, K., Amponsem, J., Cao, J., Keskinen, A., Li, J., and Pokela, A. (2025). Global Warming Has Accelerated: Are the United Nations and the Public Well-Informed? *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 67(1), 6–44. <https://doi.org/10.1080/00139157.2025.2434494>
- Koto, A. G. (2015). Analisis Suhu Permukaan Kota Gorontalo dan Sekitarnya Menggunakan Saluran Thermal Citra Landsat 7 ETM+. *RADIAL – Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi*, 4(1), 1-7. <https://doi.org/10.37971/radial.v4i1.117>
- Liu, P., Liu, C., and Li, Q. (2024). Effects of Landscape Pattern on Land Surface Temperature in Nanchang, China. *Scientific Reports*, 14(1), 3832. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54046-4>
- Mahardianti, M. A., Prabawa, S. E., dan Effendi, A. F. (2024). Identifikasi Perubahan Suhu Permukaan Tanah Menggunakan Citra Satelit Multitemporal di Kabupaten Gresik. *Jurnal Geodesi Undip*, 13(1), 88-95. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2024.41901>
- Maheng, D., Pathirana, A., Bhattacharya, B., Zevenbergen, C., Lauwaet, D., Siswanto, S., and Suwondo, A. (2024). Impact of Land Use Land Cover Changes on Urban Temperature in Jakarta: Insights from an Urban Boundary Layer Climate Model. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1399041. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1399041>
- Marlina, D. (2022). Klasifikasi Tutupan Lahan Pada Citra Sentinel-2 Kabupaten Kuningan dengan NDVI dan Algoritme Random Forest. *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*, 7, 41–49.
- Novianti, T. I. C., Samri, A. S., dan Nisa, S. (2024). Analisis Urban Heat Island Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 di Kota Tangerang. *Journal of Plano Studies*, 1(1), 12-20. <https://doi.org/10.36982/jops.v1i1.4065>
- Nurgiantoro, N., Hadini, L. O., Alfath, S., Uslinawaty, Z., Mokui, H. T., and Aris, A. (2025). Spatio-Temporal Characteristics of UHI in Coastal Urban Area and its Impact on Land Unit: A Case Study in the Southeast Sulawesi Province, Indonesia. *International Journal of Geoinformatics*, 21(2), 123-140. <https://doi.org/10.52939/ijg.v21i2.3945>
- Nurnawaty, N., Agusalm, M., Hakim, A., dan Ismail, S. (2023). Studi Potensi Daerah Genangan Banjir Pasang (Rob) Kota Makassar. *Bandar: Journal of Civil Engineering*, 5(1), 44–50. <https://doi.org/10.31605/bjce.v5i1.2667>
- Prabowo, R., Nur Bambang, A., and Sudarno. (2020). Population Growth and Agricultural Land Conversion. *Mediagro*, 16(2), 26-36.

- Prasetyo, S., Hidayat, U., Haryanto, Y. D., dan Riama, N. F. (2021). Variasi dan Trend Suhu Udara Permukaan di Pulau Jawa Tahun 1990-2019. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan dan Profesi Kegeografian*, 18(1), 60-68. <https://doi.org/10.15294/jg.v18i1.27622>
- Pratiwi, A. Y., dan Jaelani, L. M. (2021). Analisis Perubahan Distribusi Urban Heat Island (UHI) di Kota Surabaya Menggunakan Citra Satelit Landsat Multitemporal. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), C48-C55.
- Prayuda, S. S., and Kusuma, M. N. (2023). Analysis of Land Cover Changes to Increase Land Surface Temperature in Surabaya using Landsat Satellite. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 24(2), 95-104.
- Rahmadi, R. (2016, Juni 16). Gorontalo yang Rentan Terhadap Perubahan Iklim, Seperti Apa?. <https://mongabay.co.id/2016/06/16/gorontalo-yang-rentan-terhadap-perubahan-iklim-seperti-apa/>
- Rahman, M. T. (2016). Land Use and Land Cover Changes and Urban Sprawl in Riyadh, Saudi Arabia: An Analysis Using Multi-Temporal Landsat Data and Shannon's Entropy Index. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, 1017-1021.
- Rahmi, K. I. N., Pane, M. R., Adella, T. R., Nugroho, J. T., Febrianti, N., and Ulfa, K. (2024). The Use of Landsat-8 in Google Earth Engine to Analyze Urban Heat Island in Bogor City. *Jurnal Pendidikan Geografi: Kajian, Teori, dan Praktek dalam Bidang Pendidikan dan Ilmu Geografi*, 29(2), 121-134. <https://doi.org/10.17977/um017v29i22024p121-134>
- Shawky, M., Ahmed, M. R., Ghaderpour, E., Gupta, A., Achari, G., Dewan, A., and Hassan, Q. K. (2023). Remote Sensing-Derived Land Surface Temperature Trends Over South Asia. *Ecological Informatics*, 74, 101969. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101969>
- Shih, W. Y., Ahmad, S., Chen, Y. C., Lin, T. P., and Mabon, L. (2020). Spatial Relationship between Land Development Pattern and Intra-Urban Thermal Variations in Taipei. *Sustainable Cities and Society*, 62, 102415. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102415>
- Sianturi, R. S., Perdana, A. P., and Ramdani, F. (2024, May). Monitoring Land Surface Temperature Trends in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1353(1), 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1353/1/012036>
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., Sòria, G., Romaguera, M., Guanter, L., Moreno, J., Plaza, A., and Martínez, P. (2008). Land Surface Emissivity Retrieval from Different VNIR and TIR Sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(2), 316-327. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.904834>
- Whidayanti, E., Labib, M. S., Novani, N. R., Hazani, S. N., and Akyas, M. (2025). Analysis of Land Cover Change in Relation to the Urban Heat Island Phenomenon using Remote Sensing and GIS Technology in South Jakarta, Indonesia. *Journal of Geographical Sciences and Education*, 3(3), 155-170. <https://doi.org/10.69606/geography.v3i03.291>
- Yang, L., Yu, K., Ai, J., Liu, Y., Lin, L., Lin, L., and Liu, J. (2021). The Influence of Green Space Patterns on Land Surface Temperature in Different Seasons: A Case Study of Fuzhou City, China. *Remote Sensing*, 13(24), 5114. <https://doi.org/10.3390/rs13245114>
- Yu, S., Zhu, Z., Zhang, Z., Cai, S., Liu, F., Zhao, X., Wang, X., and Hu, S. (2024). Land Surface Temperature Changes in Different Urbanization Increments in China since 2000. *Land*, 13(4), 417. <https://doi.org/10.3390/land13040417>