



ANALISIS SPASIAL TEMPORAL SUHU PERMUKAAN TANAH (LAND SURFACE TEMPERATURE) DI KOTA MANADO

Nichell Hamaa^{1,*}, Joyce Ch. Kumaat², Anindya Puspita Putri³

^{1,2,3} Program Studi Geografi, Fakultas Ilmu Sosial dan Hukum, Universitas Negeri Manado

✉ ikelhamaa03@gmail.com *

ABSTRACT. Climate change has a real impact on urban areas, notably through the increase in land surface temperature (LST). This research aims to analyze the spatial distribution and temporal trends of LST in Manado City from 2019-2023. The research method used is descriptive quantitative with remote sensing and Geographic Information System (GIS) approaches. The main data used was Landsat 8 satellite imagery, which was processed using a single-channel algorithm to extract surface temperature values. LST values were classified into three temperature categories (low, medium, high) using natural breaks, percentile, and classical statistics methods, and analyzed based on sub-district administrative areas. The results showed that Manado City experienced intensive thermal transformation over the last five years. In 2019, it was still dominated by the medium and low temperature categories, while high temperature only covered about 21% of the total area. However, by 2023, the area of high temperature nearly doubled, reaching more than 46% of the total area, while low temperature shrank drastically to only about 13%. The temperature increase is not evenly distributed, but concentrated in districts with high development intensity such as Mapanget, Malalayang, Paal Dua, and Tikala. In contrast, areas such as Bunaken and Bunaken Islands retained the dominance of low and moderate temperatures, demonstrating the role of coastal ecosystems and natural vegetation in maintaining thermal stability. These findings emphasize the importance of green open space management and spatial-temporal data-based spatial planning policies as adaptive strategies to maintain microclimate balance and reduce ecological risks in urban areas.

Keywords: Land Surface Temperature, Spatial-Temporal Analysis, Landsat 8, Manado City

ABSTRAK. Perubahan iklim memberikan dampak nyata pada kawasan perkotaan, salah satunya melalui peningkatan suhu permukaan tanah (*Land Surface Temperature*). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi spasial dan tren temporal LST di Kota Manado selama periode 2019-2023. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan pendekatan penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG). Data utama yang digunakan berupa citra satelit Landsat 8, yang diolah menggunakan algoritma single-channel untuk mengekstraksi nilai suhu permukaan. Nilai LST diklasifikasikan ke dalam tiga kategori suhu (rendah, sedang, tinggi) dengan metode natural breaks, percentile, dan classical statistics, dan dianalisis berdasarkan wilayah administratif kecamatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kota Manado mengalami transformasi termal yang intensif selama lima tahun terakhir. Pada tahun 2019, masih didominasi oleh kategori suhu sedang dan rendah, sementara suhu tinggi hanya mencakup sekitar 21% dari total wilayah. Namun, hingga tahun 2023, luas area bersuhu tinggi meningkat hampir dua kali lipat, mencapai lebih dari 46% dari total wilayah, sementara suhu rendah menyusut drastis hingga tersisa hanya sekitar 13%. Peningkatan suhu tidak merata, melainkan terkonsentrasi di kecamatan dengan intensitas pembangunan tinggi seperti Mapanget, Malalayang, Paal Dua, dan Tikala. Sebaliknya, wilayah seperti Bunaken dan Bunaken Kepulauan tetap mempertahankan dominasi suhu rendah dan sedang, menunjukkan peran ekosistem pesisir dan vegetasi alami dalam menjaga kestabilan termal. Temuan ini menegaskan pentingnya pengelolaan ruang terbuka hijau dan kebijakan tata ruang berbasis data spasial-temporal sebagai strategi adaptif untuk mengendalikan dampak pemanasan lokal dan mendukung pembangunan kota yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Suhu Permukaan Tanah, Analisis Spasial-Temporal, Landsat 8, Kota Manado

Diterima: 13-02-2025, Direvisi: 12-03-2025, Disetujui: 18-03-2025



PENDAHULUAN

Perubahan iklim global, ditandai oleh peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi, menjadi tantangan serius dalam konteks pembangunan berkelanjutan. Fenomena ini ditandai dengan peningkatan suhu rata-rata bumi akibat akumulasi gas rumah kaca di atmosfer (Duka et al., 2020). Pemanasan global tidak hanya menimbulkan dampak berskala global, tetapi juga berdampak nyata di tingkat lokal, terutama di kawasan perkotaan. Salah satu dampak yang paling menonjol adalah fenomena Urban Heat Island (UHI), yakni kondisi di mana suhu udara di kawasan perkotaan lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah sekitarnya yang masih memiliki penutup lahan alami (Aldiansyah & Wardani, 2023). UHI menjadi tantangan serius, mulai dari penurunan kenyamanan termal, peningkatan risiko kesehatan, hingga degradasi kualitas lingkungan perkotaan. Dalam konteks tersebut, kajian terhadap dinamika suhu permukaan tanah (*Land Surface Temperature*) menjadi sangat penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim di kawasan urban.

Suhu permukaan tanah (LST) berperan sebagai indikator utama yang merepresentasikan interaksi antara atmosfer dan permukaan bumi. Parameter ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis dan pola tutupan lahan, kerapatan vegetasi, serta intensitas aktivitas manusia (Al Mukmin et al., 2016). Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan secara intensif, seperti konversi lahan hijau menjadi area terbangun, berkontribusi terhadap peningkatan LST secara signifikan (Dhonanto et al., 2021). Rendahnya vegetasi serta tingginya emisivitas permukaan turut memperparah kondisi ini (Adi et al., 2021). Pemahaman tersebut mengindikasikan bahwa pola spasial dan temporal LST menjadi sangat relevan untuk menganalisis distribusi suhu serta faktor-faktor penyebabnya.

Dalam perkembangannya, teknologi penginderaan jauh menyediakan pendekatan yang efisien dan akurat dalam mengamati perubahan LST secara luas dan berkelanjutan. Melalui pemanfaatan citra satelit seperti Landsat 8 dan Sentinel, para peneliti dapat memetakan variasi LST secara spasial dan temporal, serta mengkaji keterkaitannya dengan fenomena UHI (Koman et al., 2021) (Letedara et al., 2023). Penggunaan teknologi ini memungkinkan penyusunan kebijakan berbasis data untuk mendukung adaptasi dan mitigasi dampak perubahan iklim di wilayah perkotaan, khususnya dalam konteks perencanaan tata ruang yang responsif terhadap dinamika iklim mikro (Fajrin & Driptufany, 2019).

Indonesia sebagai negara kepulauan tropis memiliki kerentanan tinggi terhadap perubahan iklim. Karakteristik geografis dan variasi topografi membuat setiap wilayah memiliki dinamika iklim yang khas. Di antara wilayah tersebut, Provinsi Sulawesi Utara, khususnya Kota Manado, menunjukkan tingkat kerentanan yang meningkat akibat urbanisasi dan pembangunan infrastruktur yang masif. Sebagai ibu kota provinsi, Kota Manado telah mengalami transformasi lahan yang signifikan, ditandai dengan bertambahnya luas wilayah terbangun dan berkurangnya tutupan vegetasi (Wahyuni et al., 2017), yang berimplikasi langsung terhadap perubahan suhu permukaan tanah.

Temuan dari berbagai penelitian lokal menguatkan dugaan bahwa perubahan tutupan lahan di Kota Manado telah memicu perubahan pola LST. mencatat bahwa wilayah dengan kerapatan vegetasi rendah cenderung memiliki nilai LST yang lebih tinggi dibandingkan area dengan tutupan vegetasi yang masih terjaga. Selain itu, peningkatan kepadatan bangunan dan intensitas aktivitas manusia telah memperkuat munculnya fenomena Urban Heat Island (UHI) di kawasan perkotaan (Febrianto & Sejati, 2021). Hal tersebut memperlihatkan pentingnya pemahaman terhadap karakteristik spasial suhu permukaan sebagai dasar pengelolaan lingkungan yang adaptif dalam konteks urbanisasi yang terus berkembang. Namun demikian, sebagian besar studi tersebut masih terbatas pada analisis lintas spasial dengan periode temporal yang relatif pendek.

Distribusi suhu permukaan tanah berdasarkan data penginderaan jauh menunjukkan pola konsentrasi panas di pusat kota, dengan intensitas LST yang lebih tinggi dibandingkan wilayah pinggiran (Rumengan et al., 2019). Tekanan pembangunan infrastruktur di kawasan pusat kota menjadi faktor dominan yang memicu akumulasi panas tersebut. Studi oleh (Nurhuda et al., 2019) juga melaporkan peningkatan LST yang signifikan pada periode 2015 hingga 2018, yang diduga kuat dipengaruhi oleh konversi tutupan lahan hijau menjadi area terbangun. Meskipun demikian, belum banyak kajian yang secara spesifik menganalisis perubahan LST dengan pendekatan spasial-temporal dalam rentang waktu yang lebih mutakhir dan berkelanjutan.



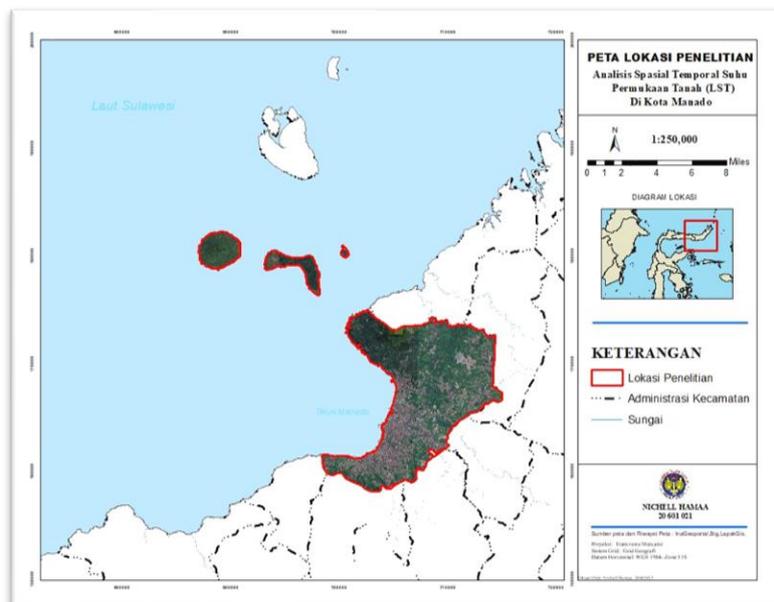
Kondisi ini menegaskan pentingnya penyediaan data spasial-temporal yang akurat dalam rangka perencanaan dan pengambilan keputusan kebijakan tata ruang. Analisis LST secara sistematis dapat mengidentifikasi wilayah-wilayah dengan risiko tinggi terhadap peningkatan suhu, yang selanjutnya menjadi dasar perumusan kebijakan adaptasi dan mitigasi perubahan iklim (Fathya et al., 2023). Selain memberikan kontribusi empiris dalam pemahaman tentang hubungan antara perubahan lahan dan dinamika suhu, kajian penelitian ini juga relevan untuk pengembangan pendekatan tata kota yang berwawasan lingkungan.

Upaya mitigasi UHI juga perlu didukung oleh strategi peningkatan ruang terbuka hijau. Studi (Giofandi & Sekarjati, 2020)(Lempoy et al., 2021) menegaskan bahwa distribusi vegetasi yang sistematis dalam rencana tata ruang mampu menurunkan suhu secara signifikan. Dalam konteks kebijakan di Daerah Khusus Manado, integrasi data spasial-temporal ini dapat memperkuat perencanaan ruang terbuka dan zona hijau, sesuai rekomendasi (Galus et al., 2022). Selanjutnya, hasil analisis dapat dijadikan dasar pemodelan UHI atau simulasi perkembangan kota dalam skenario pengendalian suhu mikroklimat.

Secara keseluruhan, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren spasial dan temporal suhu permukaan tanah (LST) di Kota Manado sebagai respons terhadap perubahan tutupan lahan dan proses urbanisasi. Melalui pendekatan penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG), kajian ini diharapkan mampu memberikan gambaran yang komprehensif mengenai distribusi suhu dan faktor-faktor yang memengaruhinya. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam upaya mitigasi perubahan iklim serta mendukung pembangunan kota yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini merupakan studi deskriptif (Khoirunnisa et al., 2024) dengan pendekatan kuantitatif berbasis analisis spasial-temporal(Letedara et al., 2023), yang bertujuan untuk mengkaji distribusi dan tren suhu permukaan tanah (*Land Surface Temperature*) di wilayah Kota Manado dalam kurun waktu lima tahun, dari 2019 hingga 2023. Penelitian dilakukan di Kota Manado, yang secara geografis merupakan ibu kota Provinsi Sulawesi Utara. Wilayah ini dipilih karena mengalami urbanisasi pesat dan perubahan tutupan lahan yang signifikan, yang secara potensial berdampak terhadap peningkatan suhu permukaan dan fenomena *Urban Heat Island* (UHI).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian, 2024

Data yang digunakan dalam penelitian ini, terdiri dari citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS Level-2 yang diperoleh dari portal resmi USGS *Earth Explorer*. Citra ini mencakup kanal termal (*Thermal Infrared Sensor/TIRS Band 10*) untuk perhitungan suhu permukaan, serta kanal optik (OLI Band 4 dan Band 5) untuk perhitungan indeks vegetasi (NDVI). Selain itu, digunakan pula metadata citra yang berisi

parameter radiometrik dan konstanta kalibrasi (K1 dan K2) yang diperlukan dalam konversi nilai digital (*Digital Number/DN*) ke suhu radian (*Brightness Temperature/BT*). Data lain yang melengkapi analisis mencakup peta batas administratif Kota Manado, peta Rupa Bumi Indonesia (RBI), dan data penggunaan lahan dalam format shapefile (SHP) dari sumber resmi seperti Badan Informasi Geospasial (BIG) dan instansi pemerintah daerah.

Proses pengolahan data dimulai dengan pra-pemrosesan citra, yaitu pemilihan citra bebas awan untuk setiap tahun analisis. Pengolahan citra satelit dilakukan menggunakan algoritma Single-Channel untuk menghitung nilai LST. Proses ini melibatkan tahapan-tahapan berikut (Aldiansyah & Wardani, 2023)(Putri & Solihin, 2023)(Insan & Prasetya, 2021):

Konversi Digital Number (DN) ke Brightness Temperature (BT), menggunakan konstanta kalibrasi sensor (K1 dan K2) yang diperoleh dari metadata citra Landsat. Persamaan konversinya adalah sebagai berikut.

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

Di mana:

- L_λ = radiansi spektral
- K_1, K_2 = konstanta kalibrasi termal sensor Landsat

Perhitungan Emisivitas Permukaan (LSE), dihitung berdasarkan nilai NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) yang diperoleh dari rasio band merah (Band 4) dan band inframerah dekat (Band 5).

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

Nilai LSE dihitung berdasarkan kategori tutupan lahan

- Untuk area vegetasi, $LSE = 0.004 \times NDVI + 0.986$
- Untuk area non-vegetasi, nilai LSE ditentukan berdasarkan referensi tutupan lahan

Kemudian LST (Land Surface Temperature) dihitung menggunakan persamaan:

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

Di mana:

- λ = panjang gelombang tengah dari band termal
- $\rho = \frac{h.c}{\sigma}$ dengan:
 - h = konstanta Planck
 - c = kecepatan cahaya
 - σ konstanta Stefan-Boltzmann
- ε = emisivitas permukaan

Tahap selanjutnya adalah klasifikasi dan analisis, yang semua perhitungan dilakukan dalam lingkungan perangkat lunak pengolahan citra dan GIS, seperti ArcGIS 10.8, yang memungkinkan manipulasi raster dan vektor secara simultan. Setelah data LST diperoleh dalam bentuk raster, dilakukan proses klasifikasi suhu ke dalam tiga kategori utama, yaitu suhu rendah, sedang, dan tinggi. Klasifikasi ini dilakukan dengan fungsi *Reclassify* untuk menyederhanakan interpretasi variasi suhu dan mempermudah visualisasi spasial. Raster hasil klasifikasi kemudian dikonversi ke format vektor (shapefile) menggunakan fungsi *Raster to Polygon*, sehingga memungkinkan analisis spasial lanjutan seperti penghitungan luas area setiap kelas suhu. Luas wilayah setiap kelas dihitung menggunakan fungsi *Calculate Geometry*, dan disimpan dalam atribut shapefile untuk dianalisis secara komparatif dari tahun ke tahun.

Analisis dilakukan secara temporal untuk membandingkan perubahan distribusi dan luasan suhu permukaan dari tahun 2019 hingga 2023. Melalui pendekatan ini, penelitian tidak hanya menggambarkan pola sebaran suhu secara spasial, tetapi juga mengidentifikasi tren peningkatan atau

penurunan LST seiring dengan dinamika perubahan tutupan lahan dan ekspansi pembangunan di Kota Manado. Tahap terakhir adalah validasi hasil, dilakukan dengan membandingkan hasil pengolahan data dengan observasi lapangan serta data sekunder lainnya. Interpretasi hasil disesuaikan dengan karakteristik geospasial wilayah Manado.

HASIL DAN PEMBAHASAN

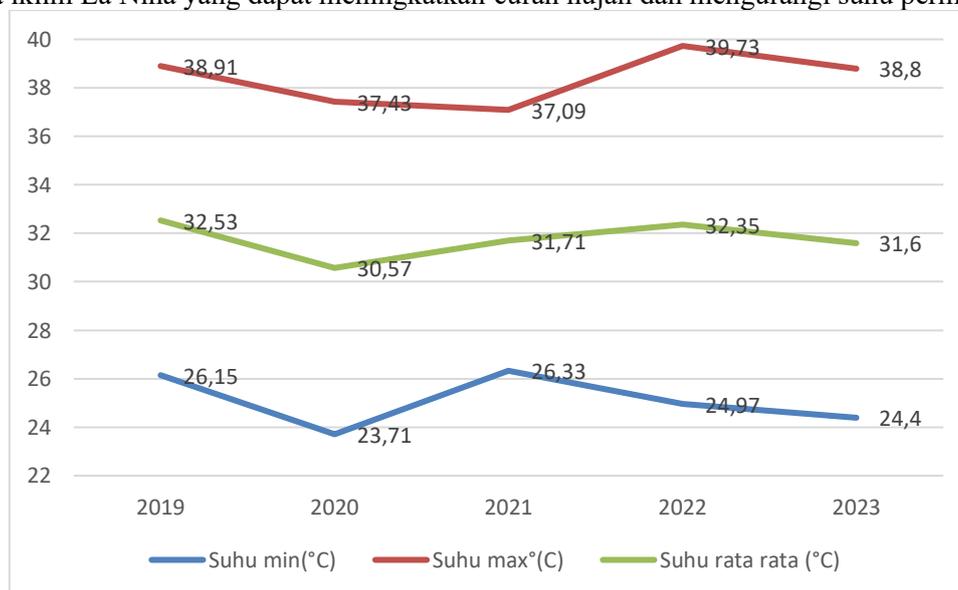
Perubahan Temporal Suhu Permukaan Tanah Kota Manado

Analisis temporal terhadap suhu permukaan tanah (*Land Surface Temperature*-LST) di Kota Manado berdasarkan data citra Landsat 8 tahun 2019–2023 menunjukkan adanya fluktuasi yang mencerminkan dinamika termal wilayah perkotaan dari tahun ke tahun. Berdasarkan Tabel 1, suhu minimum tertinggi tercatat pada tahun 2021 sebesar 26,33°C, sedangkan suhu minimum terendah terjadi pada tahun 2020 dengan nilai 23,71°C. Suhu maksimum tertinggi terjadi pada tahun 2022, yakni sebesar 39,73°C, sedangkan suhu maksimum terendah tercatat pada tahun 2021 sebesar 37,09°C.

Tabel 1. Perubahan Suhu Tahunan Kota Manado

No.	Tahun	Suhu min(°C)	Suhu max(°C)	Suhu rata rata (°C)
1	2019	26,15	38,91	32,53
2	2020	23,71	37,43	30,57
3	2021	26,33	37,09	31,71
4	2022	24,97	39,73	32,35
5	2023	24,4	38,8	31,6

Suhu rata-rata permukaan tanah mengalami dinamika yang menunjukkan kecenderungan peningkatan meskipun tidak linier. Pada tahun 2019, suhu rata-rata tercatat sebesar 32,53°C, yang kemudian menurun cukup signifikan pada tahun 2020 menjadi 30,57°C. Setelahnya, terjadi peningkatan bertahap hingga mencapai 31,6°C pada tahun 2023. Penurunan suhu rata-rata pada tahun 2020 kemungkinan dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan iklim global yang tidak normal, termasuk efek dari fenomena iklim La Niña yang dapat meningkatkan curah hujan dan mengurangi suhu permukaan.

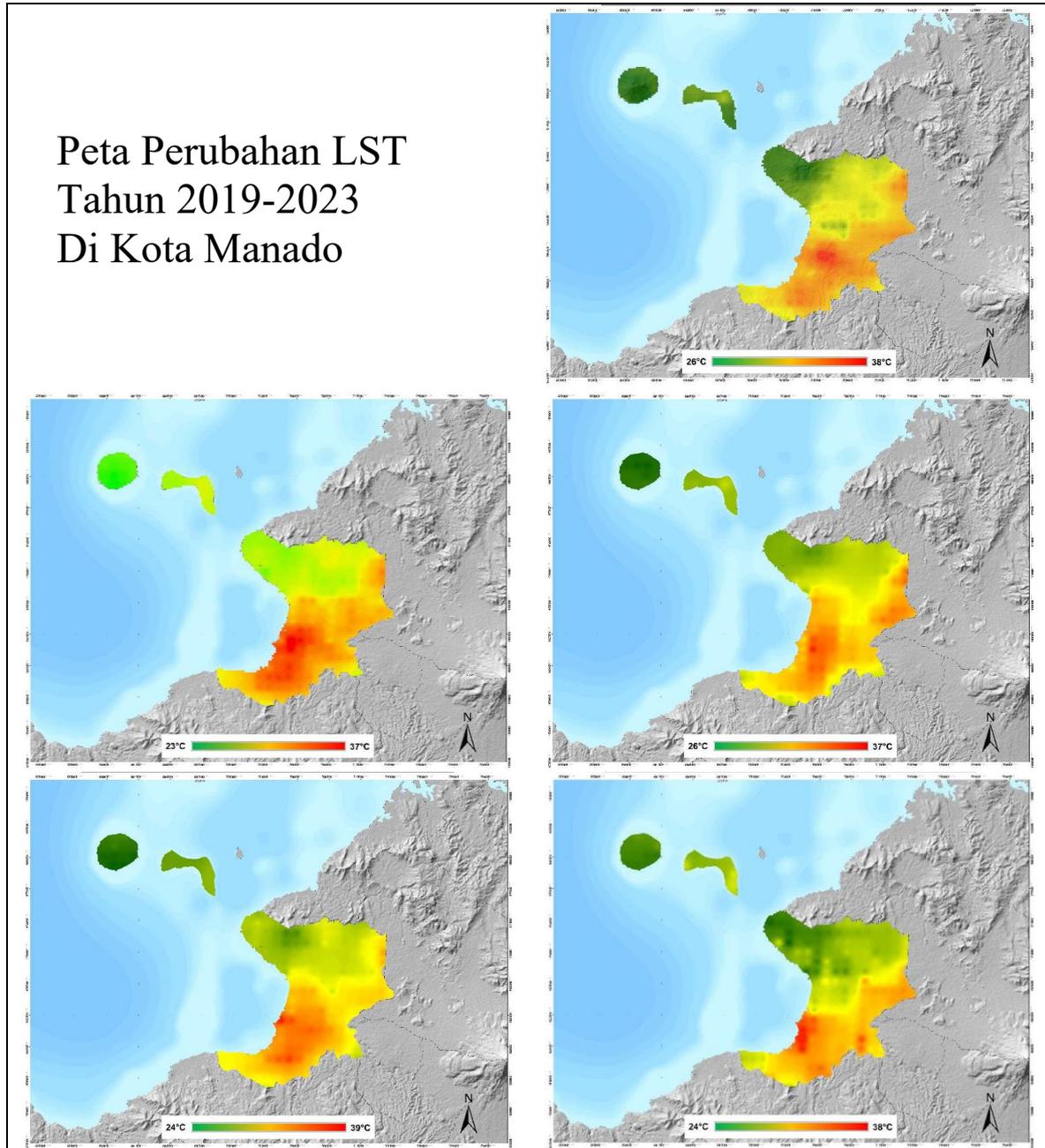


Gambar 2. Perubahan LST Secara Temporal 2019-2023 di Kota Manado

Secara umum, tren suhu rata-rata selama periode lima tahun cenderung mengalami fluktuasi dengan kecenderungan stabil pada kisaran 31 - 32°C, dengan amplitudo tahunan yang relatif kecil. Kenaikan suhu maksimum pada tahun 2022 menjadi perhatian tersendiri karena mencapai hampir 40°C, yang dapat berdampak pada kenyamanan termal, kebutuhan energi pendinginan, dan bahkan kesehatan masyarakat perkotaan

Distribusi Spasial Suhu Permukaan Tanah Kota Manado

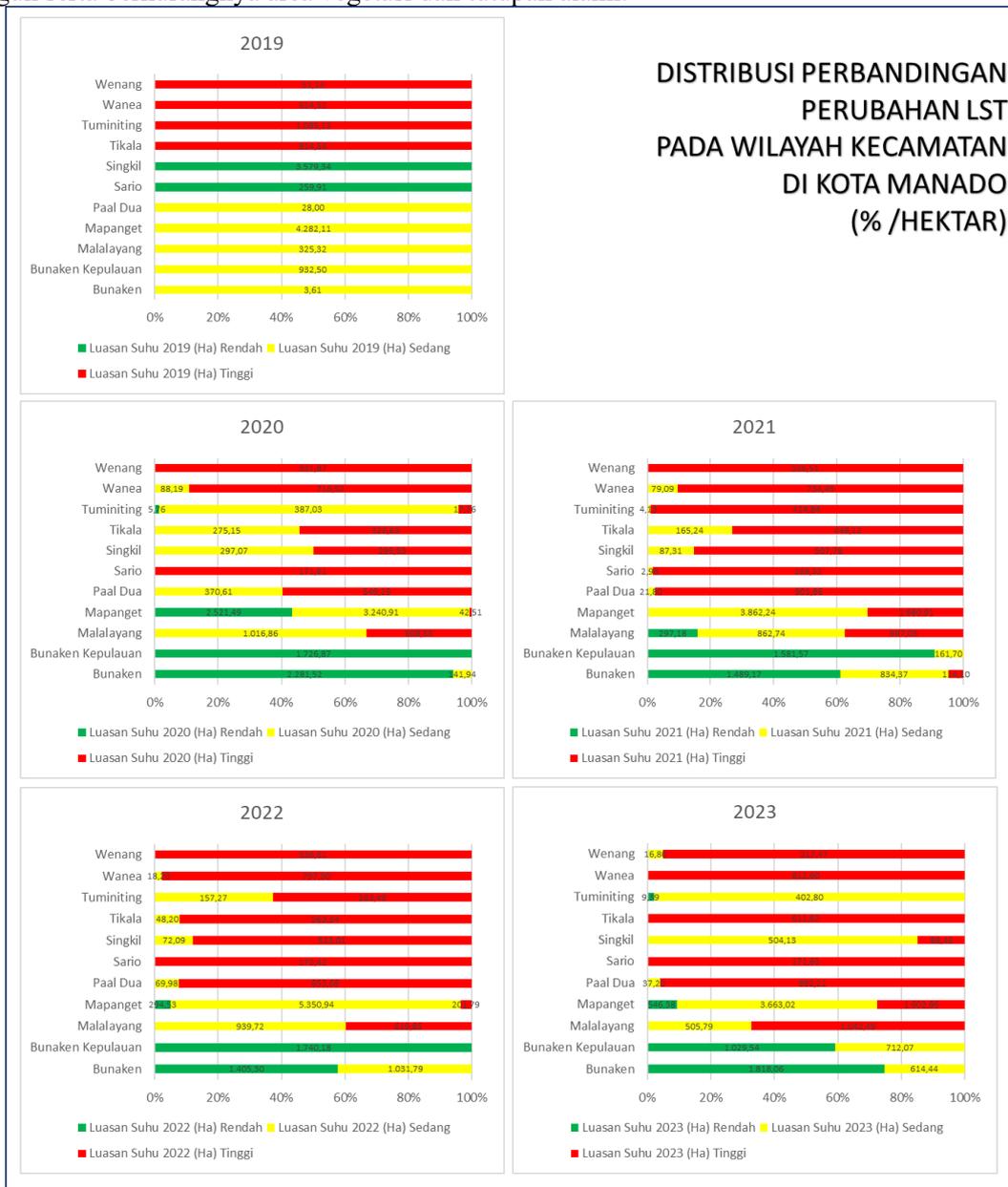
Distribusi spasial LST dianalisis melalui pengelompokan suhu menjadi tiga kategori utama, yaitu rendah, sedang, dan tinggi, yang kemudian ditabulasikan berdasarkan wilayah administratif kecamatan di Kota Manado. Data luasan tiap kelas suhu menunjukkan dinamika ruang yang signifikan dalam lima tahun terakhir.



Gambar 3. Peta Perubahan LST Secara Temporal 2019-2023 di Kota Manado

Berdasarkan data spasial perubahan suhu permukaan tanah di Kota Manado selama periode 2019 hingga 2023, terlihat adanya dinamika perubahan yang signifikan baik secara temporal maupun spasial di seluruh wilayah kecamatan. Luasan wilayah yang terklasifikasi berdasarkan kategori suhu rendah, sedang, dan tinggi mengalami perubahan fluktuatif yang secara umum menunjukkan kecenderungan meningkatnya area dengan suhu permukaan yang lebih tinggi. Pada tahun 2019, total wilayah yang terklasifikasi berdasarkan LST tercatat sebesar 11.966,12 hektar, dengan distribusi utama pada kelas suhu sedang (5.571,54 ha) dan suhu rendah (3.839,25 ha), sementara suhu tinggi masih relatif kecil (2.555,33 ha). Namun, pada tahun-tahun berikutnya, khususnya mulai tahun 2020, terjadi peningkatan luas signifikan pada kategori suhu tinggi yang mencapai 2.959,96 hektar, dan terus meningkat hingga

mencapai puncaknya pada tahun 2023 sebesar 5.529,37 hektar. Tren ini menunjukkan gejala pemanasan permukaan yang konsisten, yang dapat diindikasikan sebagai efek dari perkembangan wilayah terbangun serta berkurangnya area vegetasi dan tutupan alami.



Gambar 4. Distribusi Perbandingan Perubahan LST pada Wilayah Kecamatan di Kota Manado

Fenomena peningkatan suhu permukaan ini juga tercermin secara spasial pada beberapa kecamatan yang mengalami perubahan mencolok, antara lain Mapanget, Malalayang, Paal Dua, dan Tikala. Kecamatan Mapanget, misalnya, menunjukkan transformasi signifikan dari dominasi suhu rendah sebesar 4.282,11 hektar pada 2019 menjadi hanya 546,38 hektar pada 2023, bersamaan dengan peningkatan drastis pada suhu tinggi yang mencapai 1.602,86 hektar pada tahun yang sama. Hal serupa juga diamati di Kecamatan Malalayang dan Paal Dua, di mana suhu tinggi yang sebelumnya tidak terdeteksi pada tahun 2019 meningkat menjadi lebih dari 800 hektar pada 2023. Selain itu, Kecamatan Tikala menunjukkan pertambahan luas suhu tinggi secara konsisten setiap tahun, dari 326,63 hektar pada 2020 menjadi 611,62 hektar pada 2023. Peningkatan suhu permukaan juga menyebar ke wilayah pinggiran yang sebelumnya didominasi oleh suhu rendah atau sedang, mengindikasikan adanya ekspansi kawasan terbangun dan urbanisasi yang intensif. Sementara itu, wilayah seperti Bunaken dan Bunaken Kepulauan relatif mempertahankan dominasi suhu rendah dan sedang, dengan fluktuasi kecil

dan tanpa adanya luasan suhu tinggi yang signifikan, yang mengindikasikan keberlanjutan tutupan vegetasi serta peran ekologis kawasan pesisir dan pulau dalam menjaga keseimbangan termal.

Secara keseluruhan, perubahan LST di Kota Manado menunjukkan bahwa wilayah perkotaan cenderung mengalami peningkatan suhu permukaan akibat tekanan antropogenik yang terus meningkat, terutama dari sektor pembangunan infrastruktur dan konversi lahan. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah yang sebelumnya relatif tidak terdampak pemanasan permukaan mulai mengalami tekanan termal. Fenomena ini menjadi indikator penting dalam perencanaan dan pengelolaan wilayah perkotaan agar lebih adaptif terhadap perubahan iklim mikro serta mempertimbangkan integrasi ruang terbuka hijau dalam tata guna lahan kota untuk mengendalikan peningkatan suhu permukaan yang berkelanjutan.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan Kota Manado selama periode lima tahun terakhir, mengalami transformasi termal yang intensif, ditandai oleh meningkatnya area dengan suhu tinggi secara konsisten dari tahun ke tahun. Data spasial memperlihatkan bahwa pada tahun 2019, mayoritas wilayah kota masih didominasi oleh suhu sedang dan rendah, dengan suhu tinggi hanya mencakup sekitar seperlima dari total area. Namun, tren tersebut berubah drastis seiring berjalannya waktu, hingga tahun 2023, luas wilayah dengan kategori suhu tinggi melonjak hampir dua kali lipat, mencapai lebih dari 46% dari total wilayah terklasifikasi, sementara suhu rendah menyusut drastis hingga tersisa hanya sekitar 13%.

Perubahan ini tidak terjadi secara merata di seluruh wilayah kota, melainkan terkonsentrasi di kecamatan-kecamatan dengan aktivitas pembangunan yang tinggi. Kecamatan Mapanget, Malalayang, Paal Dua, dan Tikala menjadi contoh nyata dari transformasi termal yang ekstrem. Di Mapanget, misalnya, wilayah bersuhu rendah yang dulunya mendominasi hampir lenyap, berganti dengan suhu tinggi yang berkembang pesat. Fenomena serupa terjadi di Malalayang dan Paal Dua, di mana suhu tinggi yang sebelumnya tidak terdeteksi mulai meluas dengan signifikan dalam waktu singkat. Transisi suhu ini menjadi indikator kuat adanya peningkatan aktivitas urbanisasi dan berkurangnya tutupan vegetasi di wilayah-wilayah tersebut. Di sisi lain, beberapa wilayah seperti Bunaken dan Kepulauan tetap mempertahankan kestabilan suhu permukaannya. Dominasi suhu rendah dan sedang yang bertahan di kedua wilayah ini mencerminkan peran penting ekosistem pesisir dan vegetasi alami dalam menjaga keseimbangan termal lokal. Kondisi ini juga mempertegas perbedaan antara kawasan yang mengalami tekanan pembangunan dengan kawasan yang masih relatif alami, di mana yang terakhir lebih mampu menahan laju pemanasan.

Peningkatan suhu permukaan tanah di Kota Manado merupakan dampak nyata dari ekspansi kawasan terbangun dan berkurangnya ruang hijau. Fenomena ini menunjukkan pentingnya perencanaan tata ruang kota yang ramah lingkungan untuk menjaga keseimbangan iklim mikro, terutama dalam menghadapi tantangan perubahan iklim global. Jika tren ini terus berlangsung tanpa mitigasi yang tepat, Kota Manado berisiko mengalami tekanan ekologis dan sosial yang serius, seperti peningkatan efek pulau panas perkotaan (*urban heat island*), penurunan kualitas hidup, serta kerentanan terhadap perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, W. B., Hirsan, F. P., & Adiansyah, J. S. (2021). Analisis Pola Spasial Suhu Permukaan Di Kota Mataram Terkait Fenomena Urban Heat Island (UHI) Berdasarkan Faktor Emisivitas Lahan, Kerapatan Vegetasi Dan Jumlah Kendaraan. *Jurnal Geografi*, 10(2), 126–138.
- Al Mukmin, S. A., Wijaya, A. P., & Sukmono, A. (2016). Analisis Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Distribusi Suhu Permukaan Dan Keterkaitannya Dengan Fenomena Urban Heat Island. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(1), 224–233.
- Aldiansyah, S., & 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.
- Dhonanto, D., Puspita, N., & Anis, G. (2021). Pemanfaatan Citra Satelit Landsat 8 Untuk Memetakan Sebaran Titik Panas Sebagai Indikasi Peningkatan Suhu Permukaan Tanah Di Kabupaten Kutai

- Timur. *Ziraa'ah*, 46(3), 383–392.
- Duka, M., Lihawaa, F., & Rahima, S. (2020). Perubahan Tutupan Lahan Dan Pengaruhnya Terhadap Pola Persebaran Suhu Di Kota Gorontalo. *Jambura Geoscience Review*, 2(1), 16–29. <https://doi.org/10.34312/jgeosrev.V2i1.2682>
- Fajrin, & Driptufany, D. M. (2019). Identifikasi Urban Heat Island Kota Padang Menggunakan Teknik Pengindraan Jauh Dan Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 6(1), 1–7. <https://doi.org/10.21063/jts.2019.V601.01>
- Fathya, A. B., Nugraha, H. S., Ranti, A. G., & Wahyuningsih, R. (2023). Analisis Anomali Land Surface Temperature Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 Untuk Identifikasi Prospek Panas Bumi Gunung Sirung Di Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 18(1), 37–54.
- Febrianto, A., & Sejati, A. W. (2021). Prediksi Suhu Permukaan Lahan Dengan Memanfaatkan Teknologi Citra Multi Temporal Dan Permodelan Cellular Automata Di Dki Jakarta. *Geo Image (Spatial-Ecological-Regional)*, 10(1), 16–30.
- Galus, F. N., Wardhana, L. D. W., Pobas, M., Puay, Y., Matatula, J., & Almulqu, A. A. (2022). Analisis Distribusi Suhu Permukaan Pada Berbagai Penggunaan Lahan Di Kota Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Journal Of Research And Technology*, 8(2), 227–238.
- Giofandi, E. A., & Sekarjati, D. (2020). Persebaran Fenomena Suhu Tinggi Melalui Kerapatan Vegetasi Dan Pertumbuhan Bangunan Serta Distribusi Suhu Permukaan. *Jurnal Geografi*, 17(2), 56–62. <https://doi.org/10.15294/jg.V17i2.24486>
- Insan, A. F. N., & Prasetya, F. V. A. S. (2021). Sebaran Land Surface Temperature Dan Indeks Vegetasi Di Wilayah Kota Semarang Pada Bulan Oktober 2019. *Buletin Poltanesa*, 22(1), 45–52.
- Khoirunnisa, A., Wesnawa, I. G. A., Citra, I. P. A., & Dwipayana, M. (2024). Deteksi Kerapatan Vegetasi Dan Suhu Permukaan Lahan Kabupaten Banyuwangi Menggunakan Citra Landsat 8-Oli (Studi Kasus Tahun 2023). *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(5), 1446–1460.
- 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*, 10(3), 1–12.
- Lempoy, E. W. I., Kumurur, V. A., & Warouw, F. (2021). Analisis Faktor Pembentuk Urban Heat Island Di Kota Bitung. *Sabua*, 10(1), 45–55.
- Letedara, R., Manakane, S. E., Latue, P. C., & Rakuasa, H. (2023). Analisis Spasio-Temporal Perubahan Suhu Permukaan Daratan Pulau Letti Tahun 2013 Dan 2023 Menggunakan Data Citra Ladsat 8 Oli / Tirs Pada Geogle Earth Engine. *Larisa Penelitian Multidisiplin*, 01(1), 36–42.
- Nurhuda, A., Huda, D. N., & Adhisurya, S. (2019). Penginderaan Jauh Untuk Analisis Spasial Temporal Suhu Permukaan Daratan Di Kota Manado Tahun 2015 Dan 2018. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh Ke 6*, 134–143.
- Putri, N., & Solihin, M. A. (2023). Pengaruh Kondisi Topografi Terhadap Sebaran Suhu Permukaan Lahan (Studi Kasus Di Hulu Sub Das Cikapundung, Jawa Barat). *Majalah Ilmiah Globe*, 25(1), 41–52.
- Rumengan, S. H., Kumurur, V. A., & Moniaga, I. L. (2019). Persebaran Suhu Permukaan Dan Pemanfaatan Lahan Di Kota Manado. *Jurnal Spasial*, 6(2), 231–239.
- Wahyuni, N. I., Arini, D. I. D., & Ahmad, A. (2017). Identifikasi Perubahan Kerapatan Vegetasi Kotamanado Tahun 2001 Sampai 2005. *Majalah Ilmiah Globe*, 19(1), 65–74.