

Analisis Pola Perubahan Dan Proyeksi LST Tahun 2045 Berdasarkan Citra Modis Tahun 2003-2025 (Studi Kasus: Kota Medan, Bandung, dan Jayapura)

Zulfansyah Adhika Priatama, Soni Darmawan

Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

Koresponden email: soni_darmawan@itenas.ac.id, zulfansyahadhika01@gmail.com

Diterima: 14 Juli 2026

Disetujui: 04 Agustus 2026

Abstract

Rapid urban development driven by urbanization has led to land use changes that contribute to increasing Land Surface Temperature (LST) and intensify the Urban Heat Island (UHI) phenomenon. This study aims to analyze the pattern of LST changes during the 2003–2025 period and to project LST conditions for the year 2045 using the MODIS MYD11A2 dataset processed through Google Earth Engine (GEE). The study areas include the cities of Medan, Bandung, and Jayapura. Eight-day LST data were extracted based on the administrative boundaries of each city and aggregated into annual mean values to construct LST time series. The analysis was carried out using simple linear regression to estimate the rate of temperature change (slope), evaluate model performance using the coefficient of determination (R^2) and Root Mean Square Error (RMSE), and project LST conditions for 2045. The results indicate that all study areas exhibit increasing surface temperature trends with positive slope values, namely 0.119 °C/year for Medan, 0.027 °C/year for Bandung, and 0.026 °C/year for Jayapura. The coefficient of determination (R^2) ranges from 0.712 to 0.741, while the RMSE values range from 0.657 to 2.388 °C. The 2045 projection suggests that Medan is expected to have the highest LST at 42.60 °C, followed by Bandung at 38.65 °C, and Jayapura at 29.39 °C.

Keywords: *land surface temperature, modis myd11a2, google earth engine, simple linear regression, lst projection*

Abstrak

Perkembangan wilayah perkotaan yang semakin pesat akibat urbanisasi menyebabkan perubahan penggunaan lahan yang berdampak pada peningkatan *Land Surface Temperature* (LST) dan memperkuat fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Penelitian ini bertujuan menganalisis pola perubahan LST periode 2003–2025 serta memproyeksikan kondisi LST pada tahun 2045 menggunakan data MODIS MYD11A2 yang diolah melalui *Google Earth Engine* (GEE). Wilayah penelitian meliputi Kota Medan, Bandung, dan Jayapura. Data LST 8-harian diekstraksi berdasarkan batas administrasi masing-masing kota, kemudian dihitung menjadi rata-rata tahunan untuk membentuk deret waktu LST. Analisis dilakukan menggunakan regresi linear sederhana untuk memperoleh laju perubahan suhu (slope), mengevaluasi model melalui koefisien determinasi (R^2) dan *Root Mean Square Error* (RMSE), serta memproyeksikan LST tahun 2045. Hasil penelitian menunjukkan seluruh kota memiliki tren peningkatan suhu permukaan dengan nilai slope positif, yaitu Medan 0,119 °C/tahun, Bandung 0,027 °C/tahun, dan Jayapura 0,026 °C/tahun. Nilai R^2 berkisar antara 0,712–0,741, sedangkan RMSE berada pada rentang 0,657–2,388 °C. Proyeksi tahun 2045 menunjukkan Kota Medan diperkirakan memiliki LST tertinggi sebesar 42,60 °C, diikuti Bandung 38,65 °C, dan Jayapura 29,39 °C.

Kata Kunci: *suhu permukaan tanah, modis myd11a2, google earth engine, regresi linear sederhana, proyeksi lst*

1. Pendahuluan

Perkembangan wilayah perkotaan yang pesat akibat urbanisasi telah menyebabkan perubahan penggunaan lahan yang signifikan di berbagai wilayah Indonesia [1]. Perubahan tersebut umumnya ditandai oleh konversi lahan vegetasi menjadi kawasan terbangun yang berdampak pada perubahan karakteristik termal wilayah perkotaan [2]. Material permukaan seperti beton dan aspal memiliki kemampuan menyerap dan menyimpan panas lebih besar dibandingkan vegetasi maupun badan air sehingga menyebabkan peningkatan suhu permukaan lahan [3]. Kondisi ini memicu terbentuknya fenomena *Urban Heat Island* (UHI), yaitu kondisi ketika kawasan perkotaan memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan wilayah di

sekitarnya [3]. Dalam kajian penginderaan jauh, kondisi termal tersebut umumnya dianalisis menggunakan parameter *Land Surface Temperature* (LST) yang diperoleh dari sensor termal satelit [4]. Ketersediaan data LST multitemporal memungkinkan pemantauan perubahan suhu permukaan dilakukan secara berkelanjutan sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi tren perubahan kondisi termal suatu wilayah [5].

Berbagai penelitian telah memanfaatkan data penginderaan jauh untuk menganalisis perubahan suhu permukaan di wilayah perkotaan Indonesia [6]. Penelitian di Kota Bandung menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan dan kerapatan vegetasi berpengaruh terhadap distribusi suhu permukaan serta fenomena *Urban Heat Island* [7]. Penelitian pada beberapa kota besar di Indonesia juga menunjukkan bahwa peningkatan kawasan terbangun berkontribusi terhadap kenaikan suhu permukaan dalam jangka panjang [8]. Penelitian di Kota Balikpapan menunjukkan bahwa urbanisasi yang pesat menyebabkan peningkatan suhu permukaan yang dapat diidentifikasi melalui analisis LST berbasis data MODIS [9]. Selain itu, berbagai penelitian menunjukkan bahwa data MODIS efektif digunakan untuk menganalisis dinamika suhu permukaan pada periode waktu yang panjang karena memiliki resolusi temporal yang tinggi dan cakupan data yang konsisten [4].

Penelitian ini memiliki beberapa perbedaan utama dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya. Pertama, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada satu kota tertentu sehingga belum memberikan gambaran mengenai variasi perubahan suhu permukaan pada kota-kota dengan karakteristik geografis dan tingkat urbanisasi yang berbeda [1]. Kedua, penelitian terdahulu umumnya hanya menganalisis kondisi historis tanpa melakukan proyeksi suhu permukaan di masa mendatang [5]. Ketiga, penelitian ini memanfaatkan data MODIS *Land Surface Temperature* periode 2003–2025 yang diolah menggunakan *Google Earth Engine* (GEE), yaitu platform komputasi awan yang memungkinkan pengolahan data penginderaan jauh multitemporal secara efisien tanpa memerlukan sumber daya komputasi yang besar [10]. Penggunaan data dengan rentang waktu yang panjang memungkinkan identifikasi tren perubahan suhu permukaan secara lebih representatif, sedangkan pemanfaatan GEE mendukung proses ekstraksi dan analisis data dalam jumlah besar secara lebih cepat dan sistematis [10].

Penelitian ini berfokus pada analisis pola perubahan dan proyeksi *Land Surface Temperature* (LST) pada Kota Medan, Bandung, dan Jayapura yang mewakili pulau-pulau besar di Indonesia. Pemilihan ketiga kota tersebut didasarkan pada perbedaan karakteristik geografis, kondisi lingkungan, dan tingkat perkembangan perkotaan yang berpotensi menghasilkan pola suhu permukaan yang berbeda. Tujuan utama penelitian ini adalah menganalisis pola perubahan LST selama periode 2003–2025 serta mengidentifikasi kecenderungan perubahan suhu permukaan pada masing-masing kota. Selain itu, penelitian ini bertujuan memproyeksikan kondisi LST tahun 2045 menggunakan pendekatan regresi linear sederhana sehingga dapat memberikan gambaran awal mengenai potensi perubahan kondisi termal wilayah perkotaan di masa mendatang.

2. Metode Penelitian

2.1 Data

Penelitian ini menggunakan data MYD11A2.061 *Aqua Land Surface Temperature and Emissivity 8-Day Global* 1km Tahun 2003-2025 yang diperoleh dari produk MODIS/061/MYD11A2 melalui platform *Google Earth Engine* (GEE). Produk ini memiliki resolusi spasial 1km dan menyediakan data suhu permukaan rata-rata 8 harian (LST).

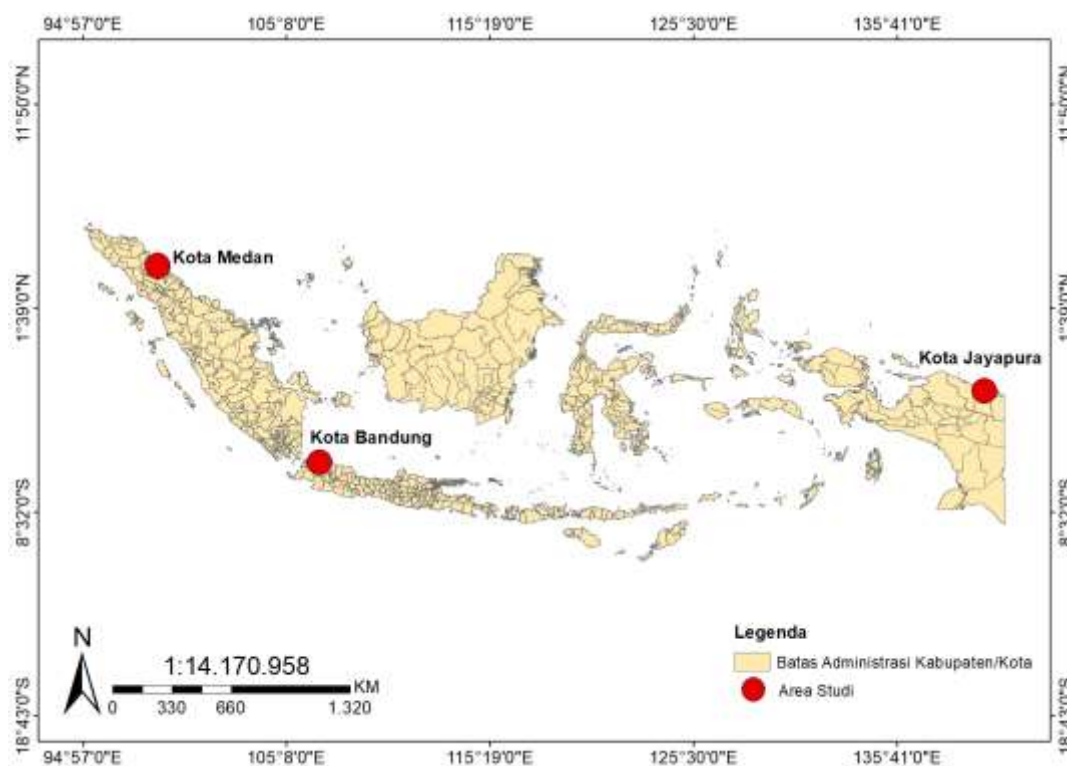
Tabel 1. Data yang Digunakan dalam Penelitian

No	Data	Sumber
1	MYD11A2.061 <i>Aqua Land Surface Temperature and Emissivity 8-Day Global</i> 1km Tahun 2003-2025	NASA <i>Land Processes</i> DAAC melalui <i>Google Earth Engine</i>
2	Batas Administrasi Kota Medan, Bandung, dan Jayapura	Badan Informasi Geospasial

2.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di tiga kota besar yang mewakili pulau-pulau utama di Indonesia, yaitu Kota Medan, Bandung, dan Jayapura. Ketiga kota tersebut dipilih karena memiliki karakteristik geografis, kondisi lingkungan, dan tingkat perkembangan perkotaan yang berbeda sehingga memberikan variasi kondisi termal yang menarik untuk dianalisis. Kota Bandung dan Medan merepresentasikan wilayah perkotaan dengan tingkat urbanisasi dan kepadatan penduduk yang tinggi, yang berpotensi memengaruhi peningkatan suhu permukaan akibat ekspansi kawasan terbangun di wilayah pulau Sumatera dan Jawa. Sementara itu, Kota Jayapura memberikan perspektif tambahan mengenai dinamika suhu permukaan pada

wilayah timur Indonesia yang memiliki topografi berbukit, kawasan pesisir, dan tutupan vegetasi yang masih relatif luas. Perbedaan karakteristik lingkungan pada masing-masing kota menjadikan ketiga wilayah tersebut sebagai lokasi yang representatif untuk mengkaji pola perubahan dan proyeksi *Land Surface Temperature* (LST) berdasarkan data MODIS periode 2003–2025. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai dinamika suhu permukaan pada berbagai kondisi wilayah perkotaan di Indonesia.



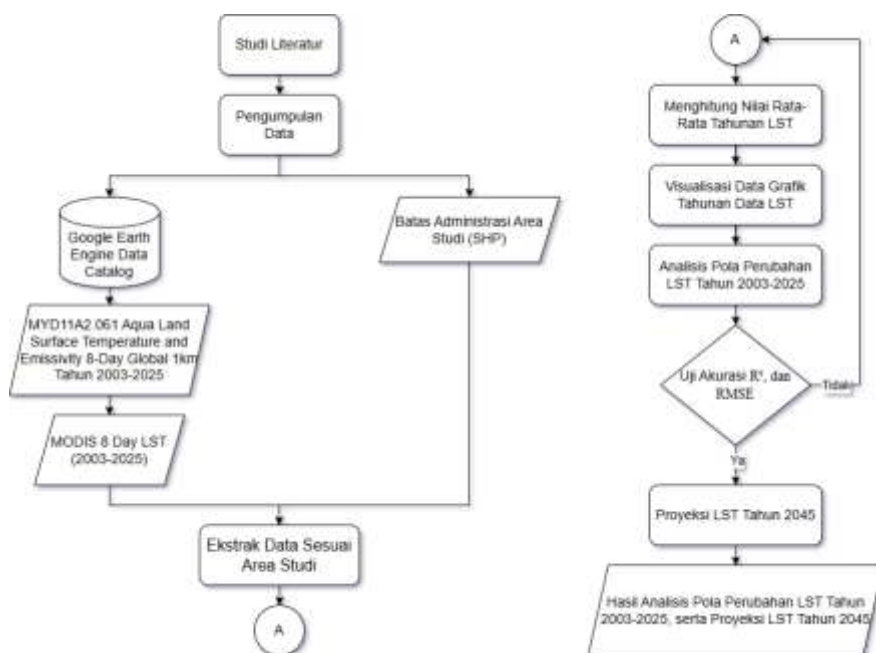
Gambar 1. Peta Area Studi

2.3 Metode

Penelitian ini diawali dengan studi literatur untuk memahami konsep LST, serta metode analisis yang digunakan. Selanjutnya, pengumpulan data batas administrasi dalam format shapefile (SHP), serta data LST diperoleh dari produk MODIS MYD11A2 periode 2003–2025 melalui proses pemanggilan data (*query*) menggunakan script pada *Google Earth Engine*. Data LST kemudian diekstraksi sesuai batas wilayah masing-masing kota dan dihitung nilai rata-rata tahunannya untuk memperoleh informasi perubahan suhu permukaan dari waktu ke waktu. Data yang diperoleh selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk mengidentifikasi pola perubahan suhu permukaan pada setiap kota. Untuk mengetahui tren perubahan LST, digunakan metode regresi linear sederhana dengan tahun pengamatan sebagai variabel bebas (x) dan nilai LST sebagai variabel terikat (y).

Nilai slope digunakan untuk menggambarkan arah dan besarnya perubahan suhu permukaan yang terjadi selama periode pengamatan. Model regresi yang diperoleh kemudian dievaluasi menggunakan koefisien determinasi (R^2) dan *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk menilai kemampuan model dalam merepresentasikan data historis. Selanjutnya, persamaan regresi digunakan untuk memproyeksikan nilai LST tahun 2045 dengan asumsi bahwa tren perubahan yang terjadi selama periode 2003–2025 berlanjut secara linear. Hasil analisis berupa pola perubahan LST historis dan proyeksi suhu permukaan tahun 2045 pada tiga kota studi kemudian diinterpretasikan dan disajikan dalam bentuk tabel, grafik, serta peta tematik. Tahapan penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada diagram alir yang disajikan pada **Gambar 2**.

Land Surface Temperature (LST) atau suhu permukaan lahan merupakan suhu radiasi yang dipancarkan oleh permukaan bumi dan direkam oleh sensor penginderaan jauh pada panjang gelombang inframerah termal [11]. LST menggambarkan kondisi termal aktual dari permukaan objek seperti tanah, vegetasi, badan air, maupun kawasan terbangun yang berada di permukaan bumi [12]. LST menjadi salah satu parameter penting dalam berbagai kajian lingkungan karena dapat digunakan untuk memahami interaksi antara permukaan bumi dan atmosfer [13]. Faktor utama yang memengaruhi LST adalah jenis tutupan lahan yang terdapat pada suatu wilayah [11]. Setiap jenis tutupan lahan memiliki sifat termal yang berbeda sehingga menghasilkan respons suhu yang berbeda pula terhadap radiasi matahari [14].



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) merupakan sensor penginderaan jauh yang dikembangkan oleh *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) untuk memantau berbagai kondisi permukaan bumi, atmosfer, dan lautan secara global [15]. MODIS memiliki resolusi spasial sebesar 250 m, 500 m, dan 1 km tergantung pada jenis kanal yang digunakan [15]. MODIS memiliki 36 kanal spektral yang mencakup spektrum tampak (*visible*), inframerah dekat (*near infrared*), inframerah gelombang pendek (*shortwave infrared*), dan inframerah termal (*thermal infrared*) [16]. Produk MODIS yang digunakan adalah MYD11A2 V6.1, yaitu produk *Land Surface Temperature* (LST) yang berasal dari sensor MODIS pada satelit *Aqua* [17]. Produk MYD11A2 memiliki resolusi spasial sebesar 1 km dan cakupan global sehingga memungkinkan analisis suhu permukaan dilakukan secara konsisten pada wilayah yang luas [17]. Produk MYD11A2 V6.1 menyediakan informasi *Land Surface Temperature* (LST) dalam bentuk data komposit rata-rata 8 harian dengan cakupan grid sebesar 1200×1200 kilometer [17]. Nilai setiap piksel pada produk ini diperoleh dari perhitungan rata-rata sederhana seluruh data LST harian yang berasal dari produk MYD11A1 selama periode delapan hari pengamatan [17]. Proses komposit dilakukan tanpa menerapkan penyaringan khusus berdasarkan nilai *Quality Assurance* (QA), sehingga seluruh data harian yang tersedia tetap digunakan dalam perhitungan rata-rata [17]. Sementara itu, nilai QA pada MYD11A2 ditentukan berdasarkan nilai QA yang paling dominan dari data harian penyusunnya untuk setiap piksel [17].

Regresi linear sederhana merupakan salah satu metode statistik yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara satu variabel bebas (*independent variable*) dan satu variabel terikat (*dependent variable*) [18]. Metode ini bertujuan untuk menggambarkan pola hubungan antar variabel dalam bentuk persamaan matematis sehingga dapat digunakan untuk menjelaskan maupun memprediksi nilai variabel terikat berdasarkan perubahan variabel bebas [19]. Pada penelitian ini, variabel bebas yang digunakan adalah tahun pengamatan (x), sedangkan variabel terikatnya adalah nilai *Land Surface Temperature* (LST) (y). Hubungan antara kedua variabel tersebut diasumsikan bersifat linear, sehingga perubahan nilai LST dapat dijelaskan berdasarkan perubahan waktu selama periode pengamatan [19]. Hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dalam regresi linear sederhana dapat dinyatakan melalui persamaan berikut:

$$y = ax + b \quad (1)$$

Dimana:

- y = nilai *Land Surface Temperature* (LST)
- x = tahun pengamatan
- a = *slope* atau laju perubahan
- b = *intercept* atau nilai awal saat $x = 0$

Nilai *slope* (a) dan *intercept* (b) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [18]:

Persamaan *slope* (a):

$$a = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (2)$$

Persamaan *intercept* (b):

$$b = \frac{\sum y - a\sum x}{n} \quad (3)$$

Dimana:

- a = slope
- b = intercept
- n = jumlah data pengamatan
- x = nilai variabel bebas (tahun)
- y = nilai variabel terikat (LST)
- $\sum x$ = jumlah seluruh nilai tahun
- $\sum y$ = jumlah seluruh nilai LST
- $\sum xy$ = jumlah hasil perkalian antara x dan y
- $\sum x^2$ = jumlah kuadrat nilai x

Nilai *slope* (a) menunjukkan besarnya perubahan rata-rata variabel terikat untuk setiap kenaikan satu satuan variabel bebas [18]. Dalam penelitian ini, slope menggambarkan laju perubahan suhu permukaan dari tahun ke tahun. Sementara itu, *intercept* (b) merupakan nilai konstanta yang menunjukkan nilai prediksi variabel terikat ketika variabel bebas bernilai nol [19]. Selain digunakan untuk membentuk model prediksi, hasil regresi linear juga perlu dievaluasi untuk mengetahui tingkat kesesuaian model terhadap data pengamatan [18]. Salah satu ukuran yang digunakan adalah koefisien determinasi (R^2) yang menunjukkan proporsi variasi variabel terikat yang dapat dijelaskan oleh variabel bebas dalam model regresi [19]. Nilai R^2 berkisar antara 0 hingga 1, di mana nilai yang semakin mendekati 1 menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang semakin baik dalam menjelaskan variasi data pengamatan [20]. Koefisien determinasi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (4)$$

Dimana:

- R^2 = koefisien determinasi
- y_i = nilai observasi
- $\hat{y}_i$ = nilai prediksi hasil regresi
- $\bar{y}$ = rata-rata nilai observasi

Selain koefisien determinasi, evaluasi model juga dilakukan menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) yang digunakan untuk mengukur besarnya penyimpangan antara nilai hasil prediksi dan nilai observasi [21]. Persamaan RMSE dapat dituliskan sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (5)$$

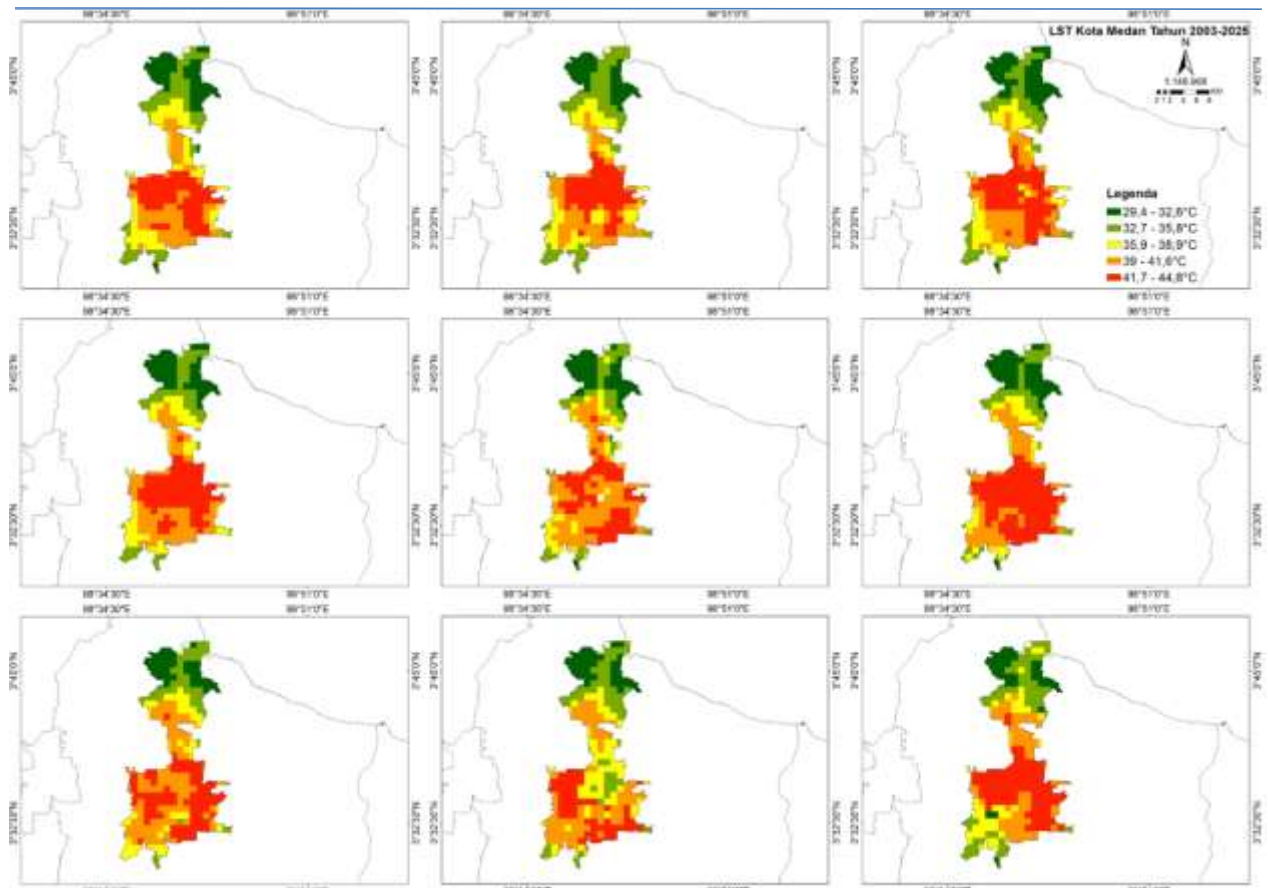
Dimana:

- RMSE = *Root Mean Square Error*
- y_i = nilai observasi
- $\hat{y}_i$ = nilai prediksi hasil regresi
- n = jumlah data pengamatan

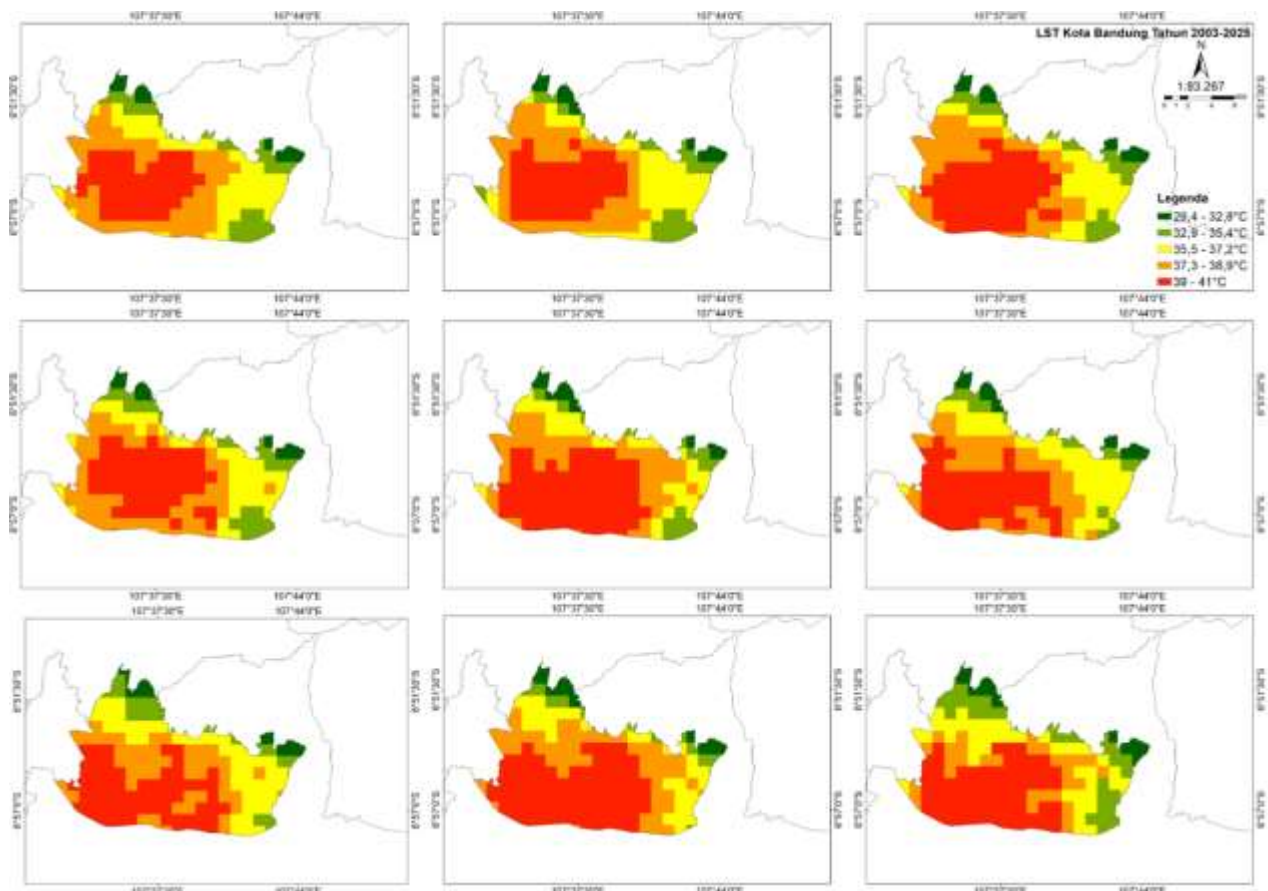
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Dinamika Spasial LST

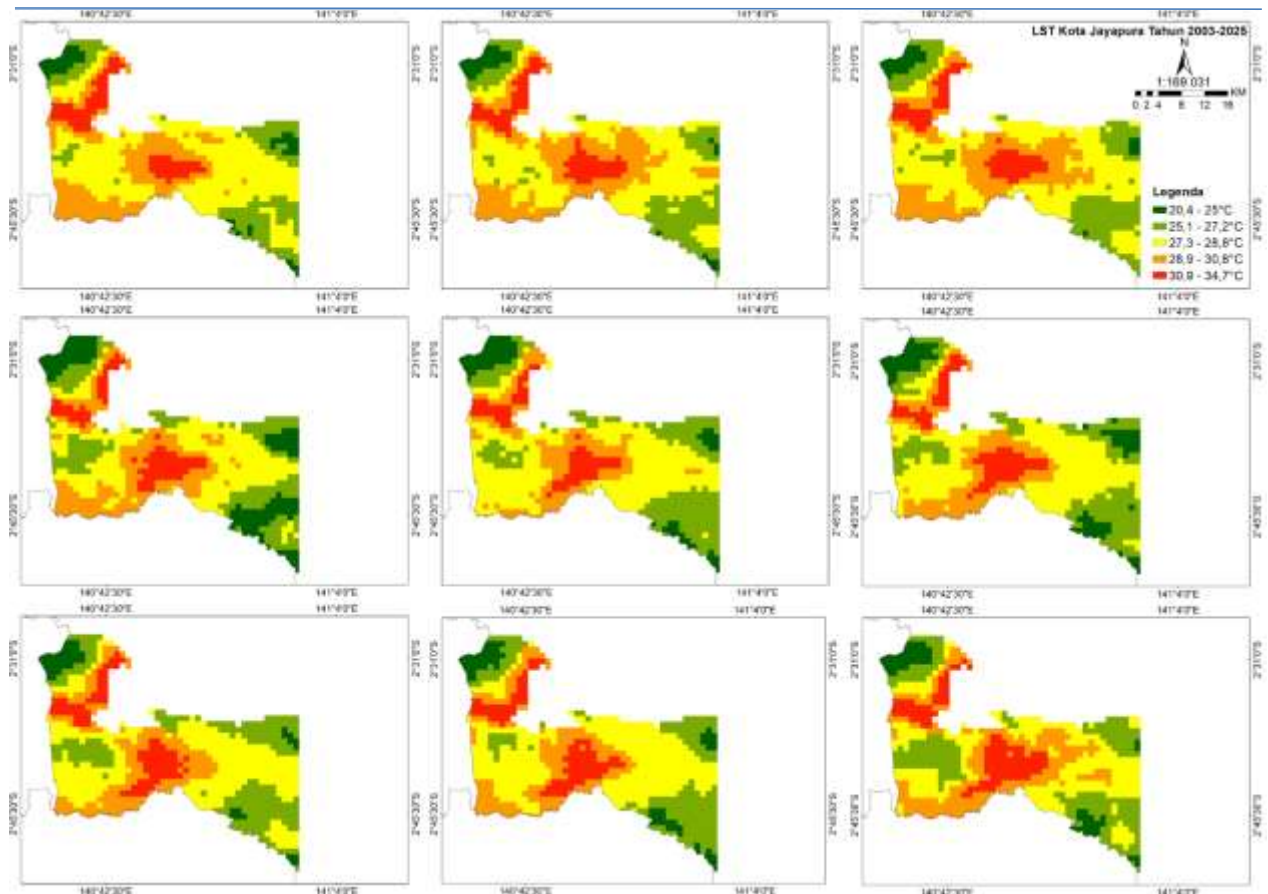
Distribusi spasial *Land Surface Temperature* (LST) pada Kota Bandung, Balikpapan, Medan, Makassar, dan Jayapura periode 2003–2025 ditampilkan pada **Gambar 3**. Perbedaan nilai suhu permukaan direpresentasikan menggunakan gradasi warna, di mana warna merah menunjukkan area dengan suhu permukaan tinggi, warna kuning menunjukkan suhu permukaan sedang, dan warna hijau menunjukkan suhu permukaan rendah. Peta tersebut digunakan untuk mengidentifikasi pola sebaran dan dinamika perubahan suhu permukaan pada masing-masing kota selama periode penelitian.



(a)



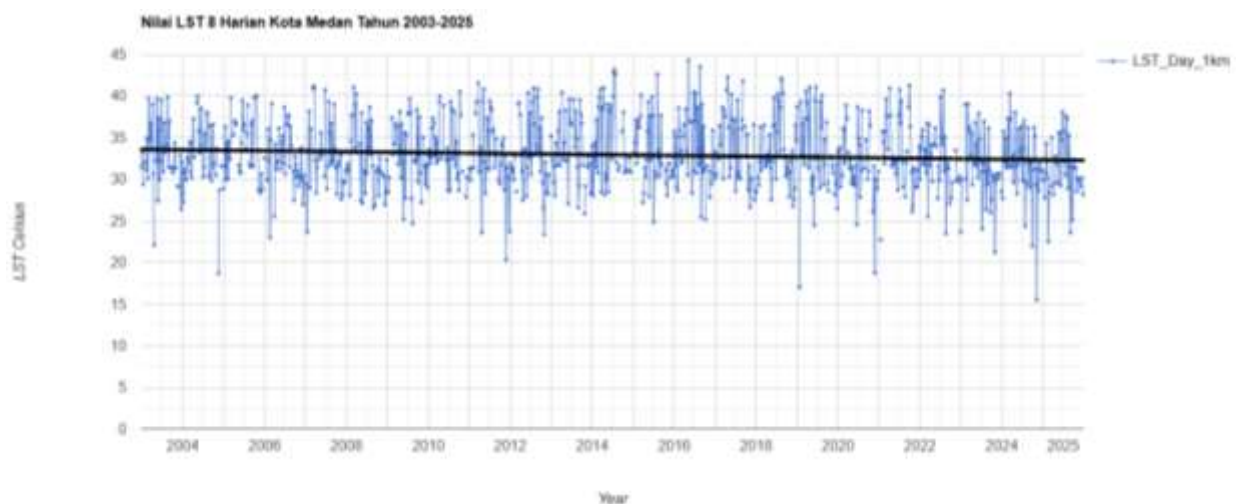
(b)



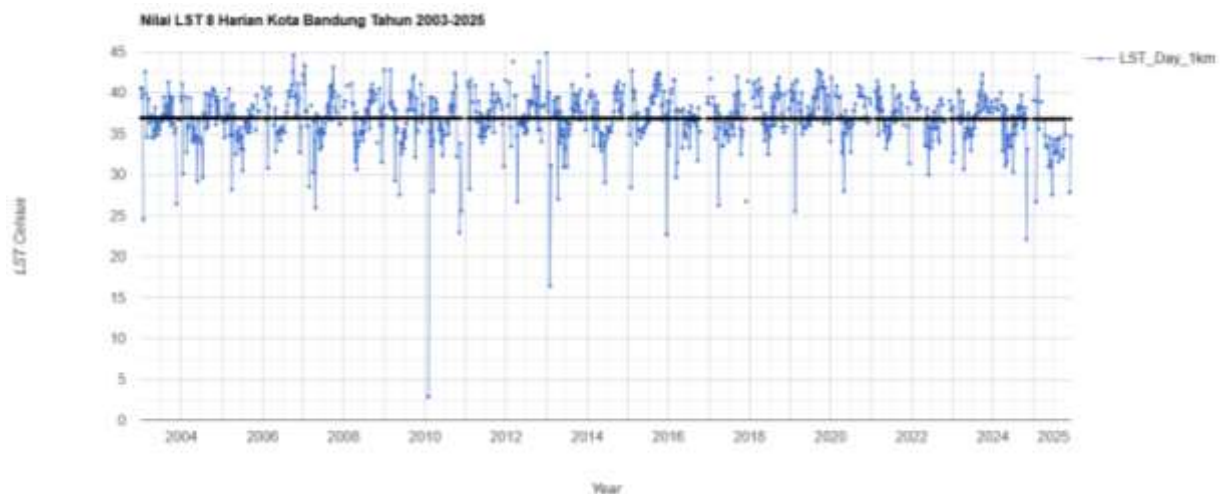
(c)

Gambar 3. Peta Dinamika Spasial LST (a) Medan, (b) Bandung, (c) Jayapura

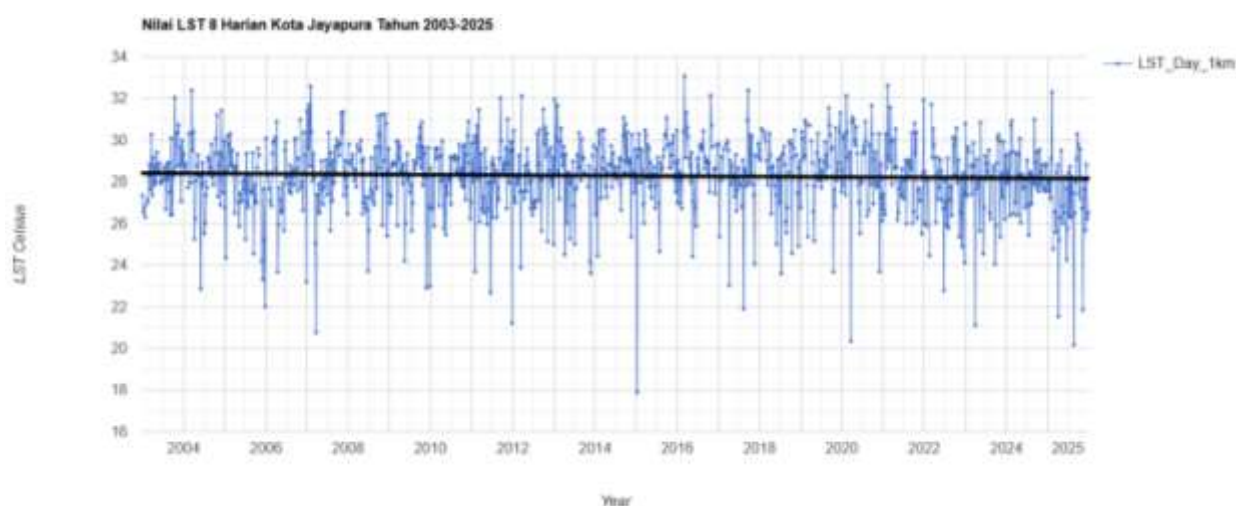
Berdasarkan **Gambar 3.** pola distribusi suhu permukaan pada ketiga kota menunjukkan karakteristik yang dipengaruhi oleh kondisi tutupan lahan, topografi, serta tingkat perkembangan wilayah perkotaan. Kota Medan menampilkan dominasi suhu tinggi pada bagian tengah kota yang memiliki kepadatan pembangunan dan aktivitas perkotaan yang tinggi, sedangkan suhu yang lebih rendah tersebar di wilayah pinggiran. Kota Bandung memperlihatkan konsentrasi suhu yang relatif lebih tinggi pada kawasan pusat kota, sedangkan wilayah utara yang didominasi topografi perbukitan cenderung memiliki suhu yang lebih rendah. Kota Jayapura masih didominasi oleh kelas suhu sedang hingga rendah yang tersebar pada kawasan perbukitan dan area berhutan, sedangkan suhu yang lebih tinggi terkonsentrasi pada pusat kota dan kawasan pesisir. Wilayah dengan intensitas pembangunan yang tinggi cenderung menunjukkan suhu permukaan yang lebih besar dibandingkan wilayah yang masih memiliki tutupan vegetasi yang luas. Hasil perhitungan dari nilai LST 8 harian pada setiap masing-masing studi disajikan pada **Gambar 4.**



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. Grafik Dinamika LST (a) Medan, (b) Bandung, (c) Jayapura

Gambar 4 menunjukkan dinamika LST tahunan Kota Medan selama periode 2003 hingga 2025 memiliki rentang antara 31,1°C hingga 34,8°C. Nilai terendah tercatat sebesar 31,1°C pada tahun 2025, sedangkan nilai tertinggi mencapai 34,8°C pada tahun 2014, dengan rata-rata sebesar 32,9°C. Garis tren menunjukkan fluktuasi suhu yang cukup dinamis dengan kecenderungan penurunan pada akhir periode pengamatan. Kenaikan suhu paling signifikan terjadi sebesar 1,5°C dari tahun 2013 ke 2014, sedangkan penurunan terbesar terjadi sebesar 1,7°C dari tahun 2014 ke 2015. Nilai standar deviasi tahunan berada pada rentang 3,53–5,15°C, menunjukkan adanya variasi suhu yang cukup tinggi antarwilayah dalam kota.

Pada Kota Bandung nilai LST terendah tercatat sebesar 33,3°C pada tahun 2025, sedangkan nilai tertinggi mencapai 37,6°C pada tahun 2019, dengan rata-rata suhu permukaan sebesar 36,2°C. Garis tren pada grafik menunjukkan fluktuasi suhu yang relatif dinamis dengan kecenderungan perubahan yang tidak terlalu signifikan sepanjang periode pengamatan. Dinamika nilai tahunan LST memperlihatkan kenaikan terbesar sebesar 2,6°C dari tahun 2010 ke 2011, sementara penurunan paling drastis terjadi sebesar 2,1°C dari tahun 2024 ke 2025. Nilai standar deviasi berkisar antara 1,64–3,77°C, yang mengindikasikan variasi suhu spasial yang relatif rendah dibandingkan kota-kota lainnya.

Pada Kota Jayapura menunjukkan rentang nilai LST yang lebih rendah, dengan rentang nilai antara 27,1°C hingga 28,9°C. Nilai terendah tercatat sebesar 27,1°C pada tahun 2025, sedangkan nilai tertinggi mencapai 28,9°C pada tahun 2016, dengan rata-rata suhu permukaan sebesar 28,3°C. Garis tren memperlihatkan kondisi yang relatif stabil dengan kecenderungan sedikit menurun pada akhir periode pengamatan. Kenaikan suhu terbesar terjadi sebesar 0,7°C dari tahun 2005 ke 2006, sedangkan penurunan

terbesar terjadi sebesar $1,1^{\circ}\text{C}$ dari tahun 2024 ke 2025. Nilai standar deviasi tahunan berkisar antara $1,24-2,23^{\circ}\text{C}$, yang menunjukkan tingkat variasi suhu spasial yang relatif rendah di dalam wilayah kota.

3.2 Evaluasi Model

Analisis tren LST selanjutnya dievaluasi menggunakan model regresi linear sederhana untuk menilai tingkat keandalan model dalam merepresentasikan perubahan suhu permukaan selama periode pengamatan. Evaluasi dilakukan berdasarkan nilai slope sebagai laju perubahan LST, R^2 sebagai ukuran kemampuan model dalam menjelaskan variasi data, serta RMSE sebagai indikator tingkat kesalahan prediksi. Ringkasan hasil evaluasi model pada setiap kota studi disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Evaluasi Model

Kota	Slope	R^2	RMSE
Medan	0.119	0.741	2.388
Bandung	0.027	0.712	1.647
Jayapura	0.026	0.724	0.657

Hasil evaluasi model regresi linear sederhana pada 3 kota studi ditunjukkan pada **Tabel 2**. Nilai slope pada seluruh kota bernilai positif, yang menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan peningkatan suhu selama periode pengamatan 2003–2025. Kota Medan memiliki nilai slope tertinggi sebesar $0,119^{\circ}\text{C}/\text{tahun}$, yang mengindikasikan bahwa laju peningkatan suhu permukaan di kota tersebut lebih cepat dibandingkan kota lainnya. Sementara itu, Kota Jayapura memiliki nilai slope terendah sebesar $0,026^{\circ}\text{C}/\text{tahun}$, diikuti Kota Bandung sebesar $0,027^{\circ}\text{C}/\text{tahun}$.

Nilai koefisien determinasi (R^2) menunjukkan kemampuan model regresi dalam menjelaskan variasi data LST selama periode pengamatan. Kota Medan memiliki nilai R^2 tertinggi sebesar 0,741, yang berarti sekitar 74,1% variasi LST dapat dijelaskan oleh model regresi linear. Nilai tersebut menunjukkan bahwa perubahan suhu permukaan di Kota Medan memiliki kecenderungan tren yang relatif kuat dan konsisten. Nilai R^2 pada Kota Jayapura juga sebesar 0,724, dan Kota Bandung sebesar 0,712, yang menunjukkan bahwa model regresi cukup baik dalam merepresentasikan pola perubahan suhu permukaan pada kedua wilayah tersebut.

Selain koefisien determinasi, performa model juga dievaluasi menggunakan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE). Nilai RMSE yang lebih kecil menunjukkan tingkat kesalahan prediksi yang lebih rendah. Kota Jayapura memiliki nilai RMSE terkecil sebesar 0,657 yang menunjukkan bahwa hasil prediksi model relatif mendekati data observasi. Sebaliknya, Kota Medan memiliki nilai RMSE terbesar sebesar 2,388, dan Kota Bandung sebesar 1,647. Nilai tersebut menunjukkan bahwa meskipun model mampu menjelaskan tren perubahan suhu dengan baik, masih terdapat penyimpangan antara nilai prediksi dan data aktual yang dipengaruhi oleh variasi suhu antar tahun.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model regresi linear sederhana mampu menggambarkan kecenderungan perubahan LST pada seluruh kota studi dengan tingkat performa yang bervariasi. Kota Medan, Bandung, dan Jayapura menunjukkan performa model yang baik berdasarkan nilai R^2 yang tinggi. Seluruh kota menunjukkan nilai slope positif yang mengindikasikan adanya tren peningkatan suhu permukaan selama periode 2003–2025, sehingga model regresi yang diperoleh masih dapat digunakan sebagai dasar untuk melakukan proyeksi LST tahun 2045.

3.3 Proyeksi LST Tahun 2045

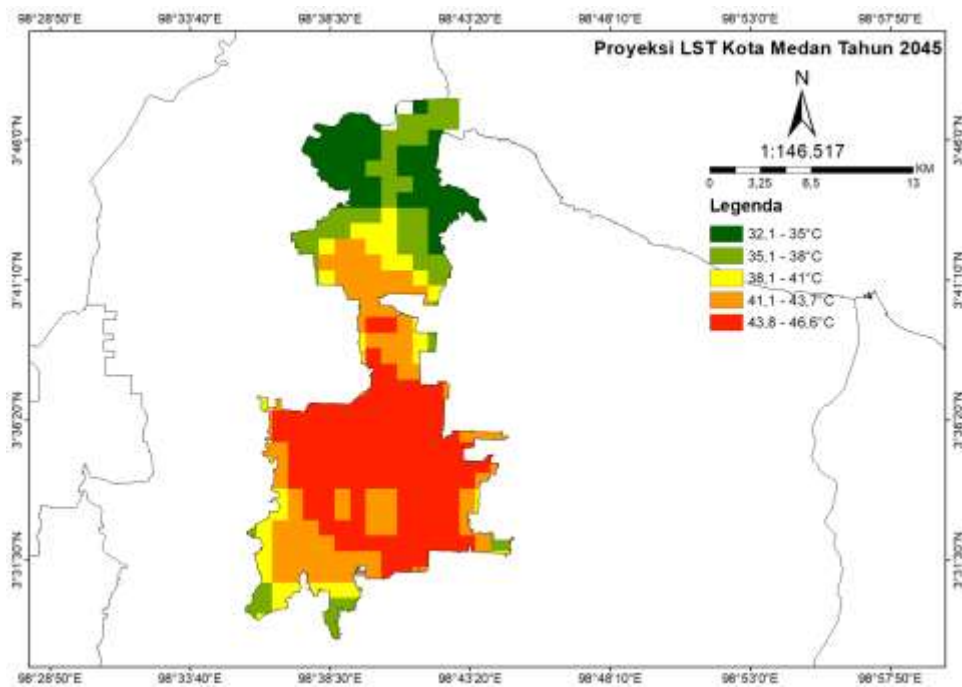
Berdasarkan model regresi linear sederhana yang telah diperoleh, dilakukan proyeksi LST tahun 2045 untuk menggambarkan kecenderungan perubahan suhu permukaan pada masing-masing kota studi. Hasil proyeksi tersebut disajikan pada **Tabel 3**, yang menampilkan nilai slope beserta estimasi LST tahun 2045.

Tabel 3 Hasil Proyeksi LST Tahun 2045

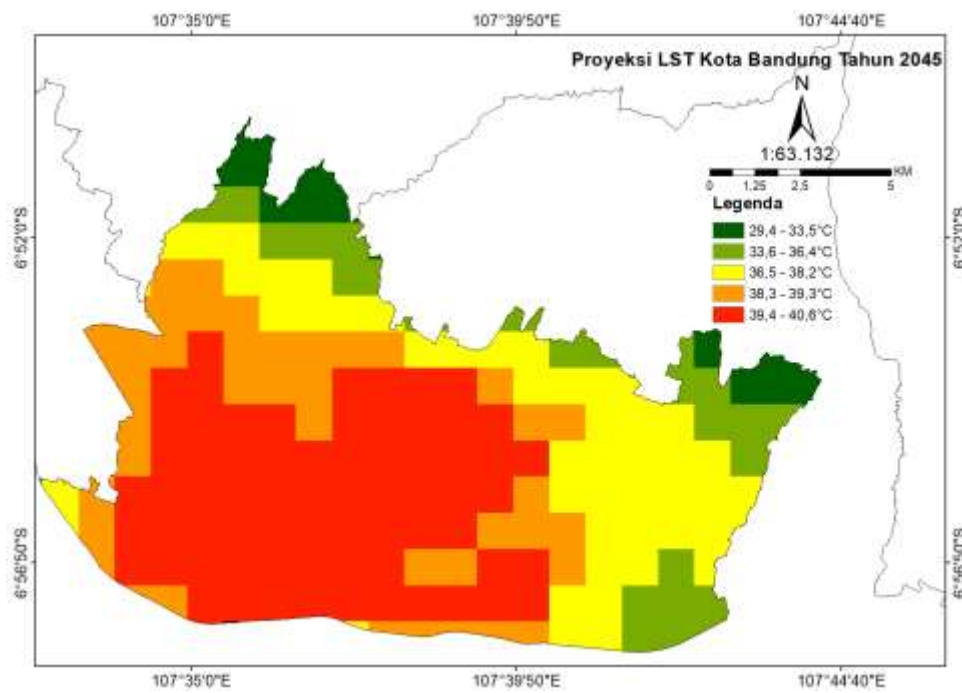
Kota	Slope ($^{\circ}\text{C}/\text{tahun}$)	Proyeksi LST 2045 ($^{\circ}\text{C}$)
Medan	0.119	42.60
Bandung	0.027	38.65
Jayapura	0.026	29.39

Distribusi spasial proyeksi LST tahun 2045 pada Kota Medan, Bandung, dan Jayapura ditampilkan pada **Gambar 5**. Perbedaan nilai suhu permukaan direpresentasikan menggunakan gradasi warna, di mana

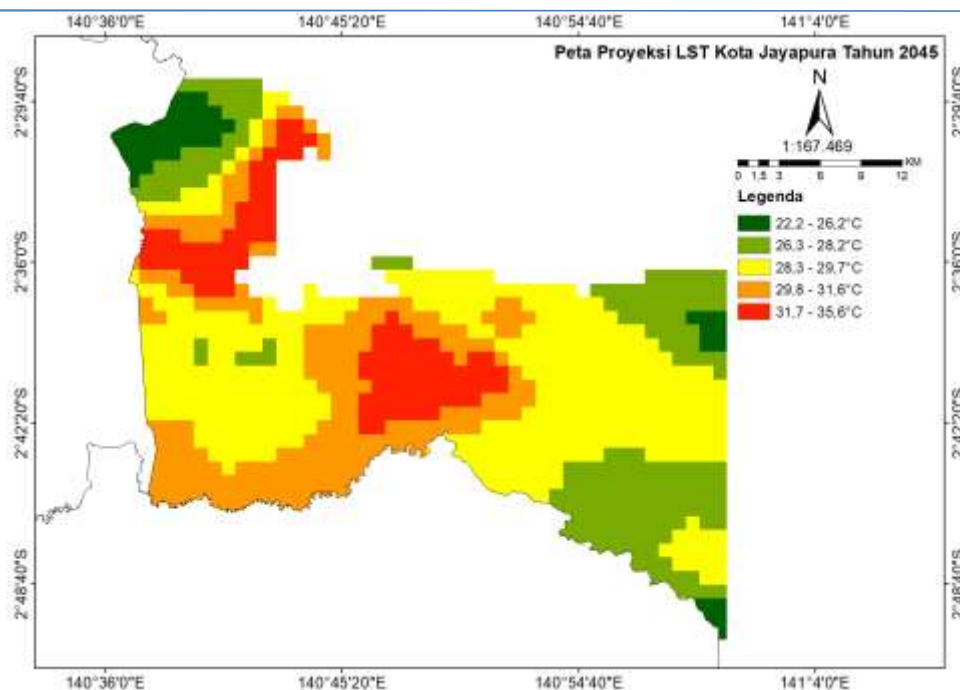
warna merah menunjukkan area dengan suhu permukaan tinggi, warna kuning menunjukkan suhu permukaan sedang, dan warna hijau menunjukkan suhu permukaan rendah.



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Peta Proyeksi LST 2045 (a) Medan, (b) Bandung, (c) Jayapura

Berdasarkan **Gambar 5** peta proyeksi LST tahun 2045 menunjukkan bahwa Kota Medan memiliki nilai proyeksi LST tertinggi dibandingkan kota lainnya. Sebagian besar wilayah diproyeksikan memiliki suhu permukaan antara 41,1–46,6°C, terutama pada bagian tengah hingga selatan kota yang merupakan pusat aktivitas perkotaan. Sementara itu, suhu yang lebih rendah hanya ditemukan pada bagian utara dengan kisaran 32,1–38,0°C.

Suhu permukaan tertinggi di Kota Bandung diperkirakan berada pada bagian tengah hingga selatan kota dengan kisaran 39,4–40,6°C. Wilayah tersebut merupakan kawasan perkotaan yang berkembang pesat dan didominasi oleh area terbangun. Sebaliknya, suhu yang lebih rendah berada pada bagian utara dengan kisaran 29,4–33,5°C yang masih dipengaruhi oleh kondisi topografi yang lebih tinggi serta keberadaan vegetasi yang relatif lebih baik.

Kota Jayapura memiliki suhu permukaan yang relatif lebih rendah dibandingkan Bandung, Medan, dan Makassar. Suhu tertinggi berada pada bagian tengah kota dengan kisaran 31,7–35,6°C, sedangkan wilayah dengan suhu lebih rendah berada pada bagian utara dan timur yang masih didominasi vegetasi serta topografi berbukit dengan kisaran 22,2–26,2°C.

3.4 Analisis Hasil Pengolahan Data

Hasil analisis pada setiap kota studi kemudian dirangkum untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai tren perubahan suhu permukaan dan kinerja model regresi yang digunakan. Perbandingan nilai slope, R^2 , RMSE, dan proyeksi LST tahun 2045 pada masing-masing kota disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Perbandingan di setiap masing-masing Area Studi

Kota	Slope (°C/tahun)	R^2	RMSE	LST 2045 (°C)
Medan	0.119	0.741	2.388	42.60
Bandung	0.027	0.712	1.647	38.65
Jayapura	0.026	0.724	0.657	29.39

Analisis perubahan LST pada tiga kota studi selama periode 2003–2025 menunjukkan bahwa seluruh kota mengalami tren peningkatan suhu permukaan yang ditunjukkan oleh nilai slope regresi yang bernilai positif. Kota Medan memiliki laju peningkatan tertinggi sebesar 0,119 °C/tahun, diikuti Bandung sebesar 0,027 °C/tahun, dan Jayapura sebesar 0,026 °C/tahun. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan suhu permukaan terjadi pada seluruh wilayah studi meskipun dengan laju yang berbeda-beda. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa perkembangan kawasan terbangun di Kota Bandung berkontribusi terhadap peningkatan suhu permukaan [7]. Hasil serupa juga menunjukkan bahwa

kota-kota besar di Indonesia mengalami peningkatan suhu permukaan akibat perubahan penggunaan lahan dan pertumbuhan kawasan perkotaan [8]. Tren peningkatan LST dinyatakan sebagai fenomena yang umum terjadi pada wilayah perkotaan yang mengalami perkembangan penggunaan lahan secara intensif [5].

Hasil evaluasi model regresi menunjukkan bahwa model memiliki tingkat performa yang berbeda pada setiap kota. Kota Medan memperoleh nilai R^2 tertinggi sebesar 0,741, diikuti Jayapura sebesar 0,724 dan Bandung sebesar 0,712, yang menunjukkan bahwa model regresi mampu menjelaskan sebagian besar variasi perubahan LST pada ketiga kota tersebut. Dari sisi akurasi model, nilai RMSE berkisar antara 0,657–2,388 °C, dengan nilai terkecil diperoleh Kota Jayapura dan terbesar pada Kota Medan. Meskipun demikian, nilai slope yang positif pada seluruh kota menunjukkan bahwa model regresi masih mampu menggambarkan kecenderungan umum perubahan suhu permukaan dan layak digunakan sebagai dasar dalam melakukan proyeksi.

Hasil proyeksi menunjukkan bahwa seluruh kota diperkirakan mengalami peningkatan LST pada tahun 2045. Kota Medan diproyeksikan memiliki suhu permukaan tertinggi sebesar 42,60 °C, diikuti Bandung sebesar 38,65 °C, dan Jayapura sebesar 29,39 °C. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa kota dengan laju peningkatan suhu yang lebih tinggi cenderung menghasilkan nilai proyeksi LST yang lebih besar. Pola ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa peningkatan kawasan terbangun dan berkurangnya tutupan vegetasi menyebabkan peningkatan suhu permukaan secara berkelanjutan [3]. Selain itu, urbanisasi yang berlangsung secara terus-menerus akan meningkatkan intensitas *Urban Heat Island* (UHI) sehingga suhu permukaan perkotaan diperkirakan terus meningkat pada masa mendatang [1]. Oleh karena itu, hasil proyeksi dalam penelitian ini dapat menjadi informasi awal bagi pemerintah daerah dalam merumuskan strategi mitigasi, seperti peningkatan ruang terbuka hijau, pengendalian perubahan penggunaan lahan, dan perencanaan pembangunan kota yang lebih berkelanjutan.

4. Kesimpulan

Dinamika LST pada lima kota studi selama periode 2003–2025 menunjukkan bahwa seluruh kota mengalami tren peningkatan suhu permukaan yang ditunjukkan oleh nilai slope regresi yang bernilai positif. Kota Medan memiliki laju peningkatan suhu tertinggi sebesar 0,119 °C/tahun, diikuti Bandung sebesar 0,027 °C/tahun, dan Jayapura sebesar 0,026 °C/tahun. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan suhu permukaan terjadi pada seluruh kota studi, meskipun dengan laju perubahan yang berbeda-beda. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh karakteristik wilayah, tingkat urbanisasi, kondisi geografis, serta keberadaan tutupan vegetasi pada masing-masing kota.

Hasil evaluasi model regresi menunjukkan bahwa Kota Medan ($R^2 = 0,741$), Jayapura ($R^2 = 0,724$), dan Bandung ($R^2 = 0,712$) memiliki hubungan linear yang relatif kuat antara waktu dan perubahan suhu permukaan. Nilai RMSE yang diperoleh berkisar antara 0,657–2,388 °C, sehingga model regresi linear sederhana masih mampu menggambarkan kecenderungan umum perubahan suhu permukaan dan dapat digunakan sebagai dasar dalam melakukan proyeksi.

Hasil proyeksi menunjukkan bahwa seluruh kota diperkirakan mengalami peningkatan LST pada tahun 2045. Kota Medan diproyeksikan memiliki suhu permukaan tertinggi sebesar 42,60 °C, diikuti Bandung sebesar 38,65 °C, dan Jayapura sebesar 29,39 °C. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kota dengan laju peningkatan suhu yang lebih tinggi cenderung menghasilkan nilai proyeksi LST yang lebih besar. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa analisis deret waktu menggunakan data MODIS MYD11A2 yang diolah melalui *Google Earth Engine* serta dimodelkan menggunakan regresi linear sederhana mampu menggambarkan pola perubahan suhu permukaan dan memberikan gambaran awal mengenai kondisi termal perkotaan di tahun 2045.

5. Referensi

- [1] Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Deilami, K., Zhou, Y., & Sobrino, J. A. (2021). Satellite remote sensing of surface urban heat islands: Progress, challenges, and perspectives. *Remote Sensing*, 13(1), 48. <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/1/48>
- [2] Zhao, L., Lee, X., Smith, R. B., & Oleson, K. (2021). Strong contributions of local background climate to urban heat islands. *Nature Climate Change*, 11, 742–747. https://www.researchgate.net/publication/263815930_Strong_contribution_of_local_background_climate_to_urban_heat_islands
- [3] Li, X., Zhou, Y., Asrar, G. R., Imhoff, M., & Li, X. (2017). The surface urban heat island response to urban expansion: A global analysis. *Science of the Total Environment*, 605–606, 426–435. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717316492?via%3Dihub>
- [4] Wan, Z. (2014). New refinements and validation of the MODIS land-surface temperature/emissivity

- products. *Remote Sensing of Environment*, 140, 36–45. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S003442571300285X?via%3Dihub>
- [5] Kara, Y., & Yavuz, V. (2025). Urban microclimates in a warming world: Land surface temperature trends across ten major cities. *Urban Science*, 9(4), 115. <https://www.mdpi.com/2413-8851/9/4/115>
- [6] Nandi, N., & Dede, M. (2022). Urban heat island assessment using remote sensing data in West Java. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 7(2), 233–246. <https://ejournal.upi.edu/index.php/ijost/article/view/44146>
- [7] Rahman, S., et al. (2024). Exploring the relationship of vegetation density and land cover on the UHI phenomenon in Bandung. *The Indonesian Journal of Planning and Development*. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/ijpd/article/view/25848>
- [8] Candraningtyas, C. F., et al. (2025). Distribution of Urban Heat Island Index in Surabaya, Yogyakarta, and Bandung. *GeoEco Journal*. <https://jurnal.uns.ac.id/GeoEco/article/view/95660>
- [9] Sabarati, A., Zaini, A., & Aritonang, S. (2024). Utilization of Terra-MODIS satellite for analysis of Urban Heat Island in Balikpapan City. *Formosa Journal of Multidisciplinary Research*, 4(2). <https://npaformosapublisher.org/index.php/fjmr/article/view/53>
- [10] Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900?via%3Dihub>
- [11] Li, Z.-L., Tang, B.-H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I. F., & Sobrino, J. A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131, 14–37. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425712004749>
- [12] Weng, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 335–344. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092427160900046X?via%3Dihub>
- [13] Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425703000798?via%3Dihub>
- [14] Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467–483. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425703003390?via%3Dihub>
- [15] Justice, C. O., Townshend, J. R. G., Vermote, E. F., Masuoka, E., Wolfe, R. E., Saleous, N., Roy, D. P., & Morisette, J. T. (2002). An overview of MODIS land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 3–15. https://jenniferdsmallphd.com/Readings/Week_10_Justice_et al_2002.pdf
- [16] Barnes, W. L., Pagano, T. S., & Salomonson, V. V. (1998). Prelaunch characteristics of the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on EOS-AM1. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(4), 1088–1100. <https://ieeexplore.ieee.org/document/700993>
- [17] Wan, Z., Hook, S., & Hulley, G. (2021). MODIS/Aqua land surface temperature/emissivity 8-day L3 global 1 km SIN grid V061 (MYD11A2). NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. <https://www.earthdata.nasa.gov/data/catalog/lpcloud-myd11a2-006>
- [18] Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2021). *Introduction to linear regression analysis* (6th ed.). John Wiley & Sons.
- [19] Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2005). *Applied linear statistical models* (5th ed.). McGraw-Hill. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1678785>
- [20] James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2021). *An introduction to statistical learning: With applications in R* (2nd ed.). Springer. <https://riskcue.id/uploads/ebook/20221114151616-2022-11-14ebook151603.pdf>
- [21] Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, 30(1), 79–82. <https://www.int-res.com/journals/cr/articles/cr030079>