

Analisis Urban Heat Island Kota Samarinda Menggunakan Citra Landsat 9 Pada Musim Kemarau Tahun 2025

Romansah Wumu^a, Nia Kurniadin^a, F. V. Astrolabe Sian Prasetya^a, Shabri Indra Suryalfihra^a, & Dawamul Arifin^a

^a Program Studi Teknologi Rekayasa Geomatika dan Survei, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Kota Samarinda

ABSTRACT

Urban Heat Island (UHI) is a phenomenon where urban areas exhibit significantly higher surface temperatures compared to surrounding rural regions, driven by land use transformation and reduced vegetation cover. This study analyzes the UHI phenomenon in Samarinda City, East Kalimantan, using Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 imagery (Collection 2, Level 2) processed through Google Earth Engine (GEE). The analysis covers May–October 2025 (dry season) using a median composite of two cloud-free scenes. Land Surface Temperature (LST) was extracted using the Single-Channel Algorithm with NDVI-based emissivity correction. Spectral indices NDVI, NDBI, and MNDWI were computed to examine their relationships with LST. UHI intensity was classified into five categories based on mean $\pm$ standard deviation thresholds. Results indicate a mean LST of 36.79°C (range: 12.35–60.69°C). High and Very High UHI classes cover 131.31 km² (21.13%) of the city area, concentrated in Samarinda Kota sub-district (mean LST 45.01°C). Correlation analysis using 90 random sampling points reveals NDBI as the strongest LST predictor ($r = +0.72$), while NDVI shows a moderate negative correlation ($r = -0.35$). These findings provide spatial evidence for urban heat mitigation strategies, particularly through green space enhancement and built-up density control in high-intensity UHI zones.

ARTICLE HISTORY

Received: April 20th, 2026

Accepted: Mei 13th, 2026

Published: Mei 15th, 2026

KEYWORDS

Google Earth Engine, Land Surface Temperature, Landsat 9, NDBI, Urban Heat Island.

CORRESPONDING AUTHOR

Romansah Wumu

Email: romansah@politanisamarinda.ac.id

How to cite: Wumu, R., Kurniadin, N., Prasetya, F. V. A. S., Suryalfihra, S. I., & Arifin, D. (2026). Analisis Urban Heat Island Kota Samarinda Menggunakan Citra Landsat 9 Pada Musim Kemarau Tahun 2025. *Journal of Geomatics Engineering, Technology, and Science*, 4(2), 61-67. <https://doi.org/10.51967/gets.v4i2.68>

1. PENDAHULUAN

Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) merupakan kondisi di mana suhu permukaan kawasan perkotaan secara signifikan lebih tinggi dibandingkan daerah pedesaan di sekitarnya. Fenomena ini terjadi akibat transformasi tutupan lahan, berkurangnya vegetasi, dan meningkatnya tutupan permukaan kedap air (*impervious surface*) yang menyerap dan menyimpan radiasi matahari dalam jumlah besar (Zhang et al., 2009). UHI berdampak luas terhadap kualitas lingkungan

perkotaan, kesehatan masyarakat, dan konsumsi energi (Taloor et al., 2024).

Kota Samarinda sebagai ibu kota Provinsi Kalimantan Timur mengalami pertumbuhan kota yang pesat seiring dengan penetapan Ibu Kota Negara (IKN) Nusantara di wilayah yang berdekatan. Ekspansi lahan terbangun yang cepat berpotensi memperparah efek UHI, khususnya di kecamatan-kecamatan dengan kepadatan bangunan tinggi. Pemahaman spasial tentang distribusi UHI di Kota Samarinda sangat diperlukan sebagai dasar kebijakan penataan ruang dan mitigasi perubahan iklim perkotaan.

CONTACT Romansah Wumu ✉ romansah@politanisamarinda.ac.id

© 2026 The Author(s). Published by Tanesa Press, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda.

This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits, unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Penginderaan jauh menggunakan citra satelit Landsat telah terbukti efektif untuk mengekstraksi *Land Surface Temperature* (LST) dan menganalisis fenomena UHI secara spasial dan temporal (Rashid et al., 2022; Singh & Kapoor, 2025). Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 menyediakan data termal resolusi 30 meter dengan kalibrasi yang lebih baik dibandingkan pendahulunya (Jamarkattel et al., 2025). Platform *Google Earth Engine* (GEE) memungkinkan pemrosesan data skala besar secara efisien tanpa memerlukan komputasi lokal yang besar (Khalil & Kumar, 2025).

Penelitian terdahulu menganalisis UHI menggunakan Landsat dan GEE di berbagai kota Asia, di antaranya Nguyen et al. (2025) di Hanoi yang menemukan penurunan LST hingga 2,14°C dalam radius 100 m dari *Urban Green Space*, serta Taloor et al. (2024) yang mengkonfirmasi korelasi positif kuat antara NDBI dan LST di Chandigarh. Penelitian UHI spesifik untuk Kota Samarinda dengan data Landsat 9 terbaru masih sangat terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengekstraksi dan menganalisis distribusi spasial LST Kota Samarinda menggunakan citra Landsat 9; (2) mengklasifikasikan intensitas UHI berdasarkan standar deviasi LST; (3) menganalisis statistik UHI per kecamatan; dan (4) mengkaji hubungan antara LST dengan indeks spektral dari *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Normalized Difference Build-Up Index* (NDBI), dan *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI).

Penelitian ini diharapkan menghasilkan beberapa luaran utama. Pertama, peta distribusi spasial LST Kota Samarinda resolusi 30 meter yang mencerminkan kondisi termal permukaan pada musim kemarau 2025, beserta peta klasifikasi intensitas UHI dalam lima kelas berdasarkan ambang batas standar deviasi LST. Kedua, profil termal per kecamatan yang memuat statistik LST, nilai indeks spektral (NDVI, NDBI, MNDWI), dan proporsi kelas UHI sebagai basis data spasial untuk perencanaan wilayah dan penataan ruang Kota Samarinda. Ketiga, model hubungan kuantitatif antara LST dan indeks spektral yang mengidentifikasi variabel penentu intensifikasi UHI, sehingga dapat menjadi acuan ilmiah bagi intervensi berbasis tutupan lahan. Secara praktis, penelitian ini diharapkan menghasilkan rekomendasi berbasis bukti (*evidence-based*) bagi pemerintah Kota Samarinda dalam merancang kebijakan mitigasi UHI di Kota Samarinda. Temuan penelitian ini juga diharapkan menjadi referensi awal bagi studi UHI multi-temporal dan pemodelan iklim perkotaan Samarinda di masa mendatang.

2. METODE

2.1. Lokasi dan Data Penelitian

Area penelitian mencakup seluruh wilayah administratif Kota Samarinda, Kalimantan Timur, yang terdiri dari 10 kecamatan dengan luas total ± 621 km². Data batas administrasi kecamatan bersumber dari peta tata ruang Kota Samarinda. Data citra satelit yang digunakan adalah Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 Collection 2 Level 2 dengan koleksi *LANDSAT/LC09/C02/T1_L2*. Periode pengambilan data adalah Mei–Oktober 2025 (musim kemarau) dengan batas tutupan awan maksimum 20%. Dua scene yang memenuhi kriteria diperoleh, yaitu tanggal 4 Mei 2025 (tutupan awan 11,9%) dan 5 Juni 2025 (18,7%). Citra komposit *median true color* Kota Samarinda ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Citra RGB *True Color* Kota Samarinda (Komposit Median Landsat 9, 2025)

2.2. Pra-Pemrosesan Citra

Pra-pemrosesan meliputi: (1) masking awan menggunakan band QA_PIXEL (bit 3: bayangan awan, bit 5: awan); (2) penerapan *scale factors* sesuai spesifikasi USGS Landsat 9 Collection 2 Level 2 — band optis dikali 0,0000275 ditambah -0,2, band termal ST_B10 dikali 0,00341802 ditambah 149,0 (Kelvin); dan (3) pembuatan komposit median untuk mereduksi *noise* dan sisa awan residual (Adams et al., 2020; USGS, 2024; USGS, 2025).

2.3. Ekstraksi *Land Surface Temperature* (LST)

LST diekstraksi menggunakan *Single-Channel Algorithm* dengan koreksi emisivitas berbasis NDVI (Sobrino et al., 2013). Tahapan ekstraksi meliputi:

(1) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI):

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red}) \quad (1)$$

(2) Proporsi Vegetasi (Pv):

$$Pv = [(NDVI - 0,2) / (0,8 - 0,2)]^2 \quad (2)$$

(3) Emisivitas (ϵ):

$$\epsilon = 0,004 \times Pv + 0,986 \quad (3)$$

(4) Land Surface Temperature (LST) (°C):

$$LST = BT / [1 + (\lambda \cdot BT / \rho) \ln(\epsilon)] - 273,15 \quad (4)$$

di mana BT adalah *Brightness Temperature* (K), $\lambda = 10,895 \mu\text{m}$ (panjang gelombang efektif pada B10 Landsat 9), $\rho = 1,438 \times 10^{-2} \text{ m}\cdot\text{K}$.

2.4. Klasifikasi Intensitas UHI

Klasifikasi UHI menggunakan metode *mean ± standard deviation* (Lu et al., 2021). UHI dibagi menjadi lima kelas: *Very Low* ($LST < \mu - 1,5\sigma$), *Low* ($\mu - 1,5\sigma \leq LST < \mu - 0,5\sigma$), *Medium* ($\mu - 0,5\sigma \leq LST < \mu + 0,5\sigma$), *High* ($\mu + 0,5\sigma \leq LST < \mu + 1,5\sigma$), dan *Very High* ($LST \geq \mu + 1,5\sigma$), dengan μ = rata-rata LST kota dan σ = standar deviasi (Liu et al., 2021).

2.5. Analisis Korelasi Indeks Spektral

Korelasi *Pearson* antara LST dengan NDVI, NDBI = $[(\rho_{\text{SWIR1}} - \rho_{\text{NIR}}) / (\rho_{\text{SWIR1}} + \rho_{\text{NIR}})]$, dan MNDWI = $[(\rho_{\text{Green}} - \rho_{\text{SWIR1}}) / (\rho_{\text{Green}} + \rho_{\text{SWIR1}})]$ dianalisis menggunakan 90 titik sampel acak (seed=42) via *ee.FeatureCollection.randomPoints()* pada GEE, skala sampling 30 m.

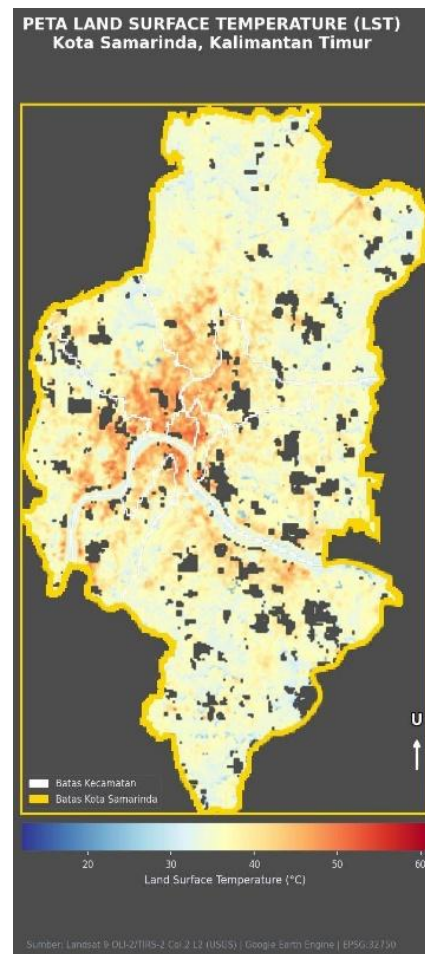
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Land Surface Temperature Kota Samarinda

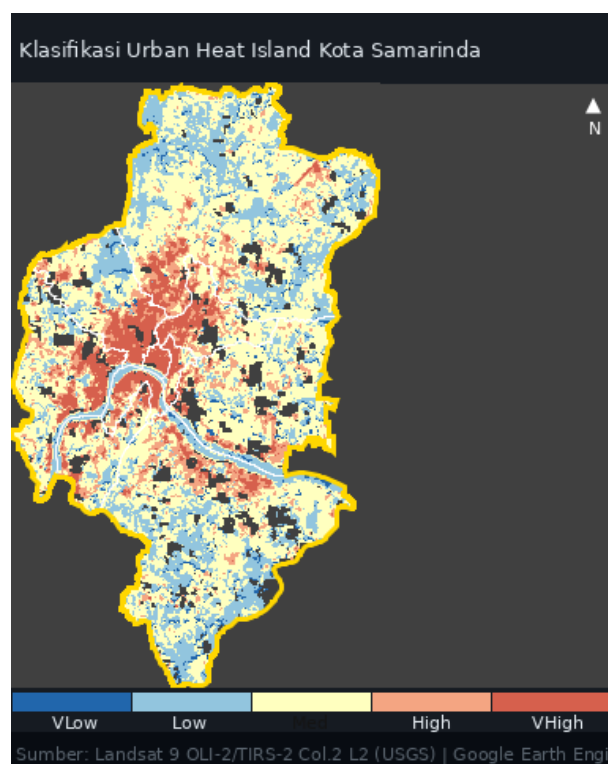
Hasil ekstraksi LST menunjukkan suhu permukaan Kota Samarinda berkisar antara 12,35°C hingga 60,69°C, dengan rata-rata 36,79°C dan standar deviasi $\pm 3,64^\circ\text{C}$. Distribusi spasial LST ditampilkan pada Gambar 2. Pola spasial memperlihatkan konsentrasi zona panas (merah-oranye) di bagian tengah kota, terutama pada kawasan permukiman dan lahan terbangun padat di sekitar pusat kota. Sungai Mahakam tampak sebagai koridor dingin (biru-putih) yang membelah kota dari barat ke timur. Area hitam pada peta merupakan piksel termasked akibat tutupan awan residual.

3.2. Klasifikasi dan Distribusi Kelas UHI

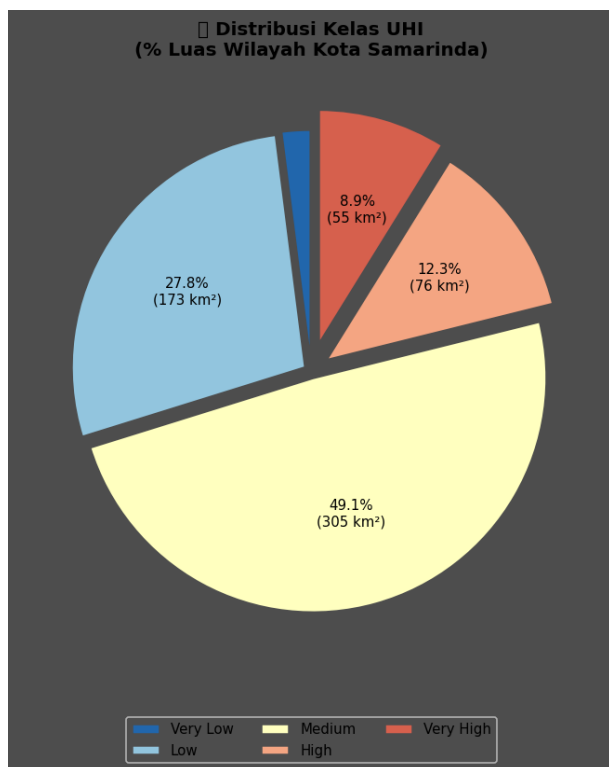
Berdasarkan nilai mean (36,79°C) dan standar deviasi (3,64°C) LST, *threshold* klasifikasi UHI ditetapkan: *Very Low* ($< 31,33^\circ\text{C}$), *Low* (31,33–34,97°C), *Medium* (34,97–38,61°C), *High* (38,61–42,25°C), dan *Very High* ($\geq 42,25^\circ\text{C}$). Distribusi spasial kelas UHI dan persentase luasnya disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 2. Peta *Land Surface Temperature* (LST) Kota Samarinda, Kalimantan Timur (Landsat 9, Mei–Oktober 2025)



Gambar 3. Peta Klasifikasi UHI Kota Samarinda



Gambar 4. Distribusi Luas Kelas UHI Kota Samarinda

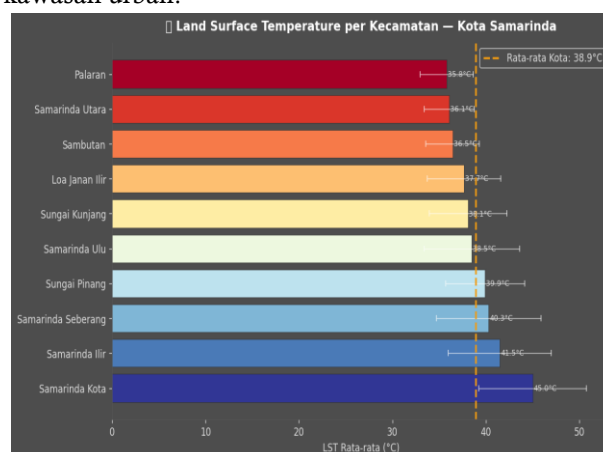
Kelas *Medium* mendominasi 49,07% wilayah kota (304,90 km²), menunjukkan hampir separuh area berada pada zona transisi termal. Kelas *High* dan *Very High* secara gabungan mencakup 131,31 km² (21,13%), mengindikasikan lebih dari seperlima wilayah Samarinda mengalami efek UHI tinggi hingga sangat tinggi. Kelas *Very Low* hanya 2,01% (12,52 km²), umumnya badan air dan vegetasi lebat. Temuan ini konsisten dengan Taloor et al. (2024) yang menemukan proporsi area UHI serupa pada kota dengan tingkat urbanisasi menengah-tinggi di Asia.

3.3. Distribusi LST per Kecamatan

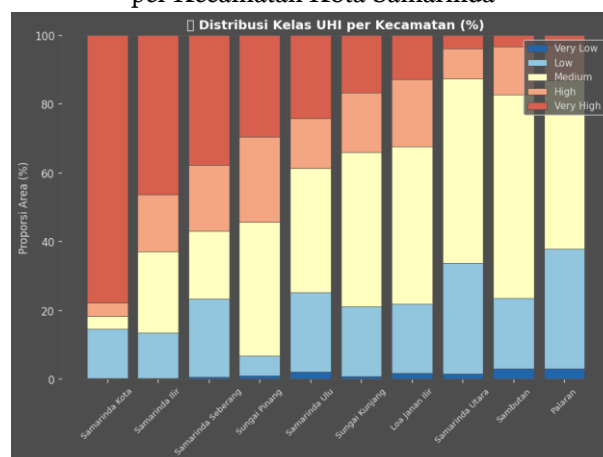
Analisis zonal statistik LST per kecamatan divisualisasikan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Samarinda Kota tercatat sebagai kecamatan terpanas dengan LST rata-rata 45,01°C, melampaui rata-rata kota dengan selisih +8,22°C. Kondisi ini berkorelasi dengan nilai NDVI terendah (0,174) dan NDBI mendekati nol (-0,047), mengindikasikan dominasi lahan terbangun padat tanpa tutupan vegetasi yang berarti.

Palaran menjadi kecamatan dengan LST terendah (35,81°C), selisih 9,20°C dibandingkan Samarinda Kota. Kecamatan ini memiliki NDVI rata-rata 0,646 dan NDBI -0,282, mencerminkan tutupan vegetasi yang dominan. Dari Gambar 6 terlihat bahwa Samarinda Kota didominasi kelas *Very High* (~75-80% area), sedangkan Palaran dan Samarinda Utara didominasi kelas *Low-Medium*. Pola ini selaras dengan Yang et al. (2025) yang menyatakan kerapatan vegetasi

merupakan faktor determinan suhu permukaan kawasan urban.



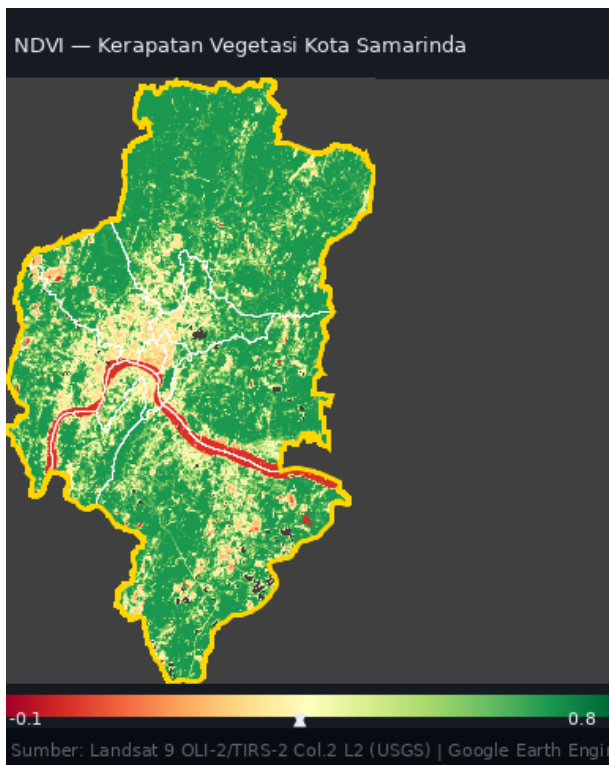
Gambar 5. Land Surface Temperature Rata-rata per Kecamatan Kota Samarinda



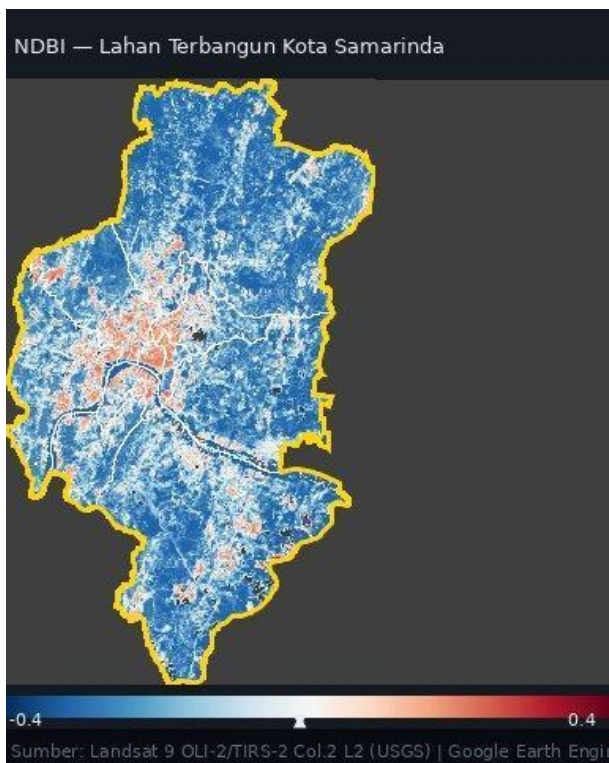
Gambar 6. Distribusi Proporsi Kelas UHI per Kecamatan Kota Samarinda (%)

3.4. Analisis Indeks Spektral NDVI dan NDBI

Peta distribusi spasial NDVI, NDBI, dan MNDWI disajikan pada Gambar 7, 8 dan 9. Peta NDVI menunjukkan zona merah-oranye (NDVI 0,174–0,321) terkonsentrasi di pusat kota, khususnya Kecamatan Samarinda Kota dan Samarinda Seberang, sementara pinggiran kota didominasi warna hijau dengan nilai NDVI berkisar 0,587–0,767 seperti yang tercermin pada Kecamatan Samarinda Utara, Sambutan, dan Palaran. Peta NDBI memperlihatkan pola kebalikannya — area merah (NDBI mendekati nol hingga -0,047) hanya terkonsentrasi di pusat kota (Samarinda Kota), sedangkan wilayah pinggiran memiliki nilai NDBI lebih negatif (-0,282 hingga -0,306) yang mencirikan dominasi tutupan vegetasi. Jalur Sungai Mahakam merupakan area dengan nilai MNDWI tertinggi di antara piksel badan air terbuka, berbeda kontras dengan nilai MNDWI rata-rata kecamatan yang seluruhnya bernilai negatif (-0,191 hingga -0,740), mengindikasikan dominasi tutupan non-air di tingkat kecamatan.



Gambar 7. Peta NDVI Kota Samarinda

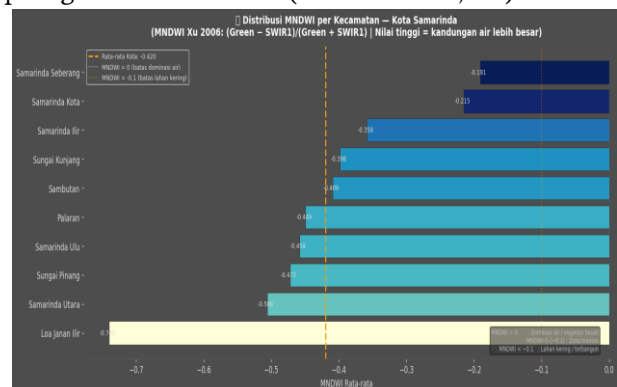


Gambar 8. Peta NDBI Kota Samarinda



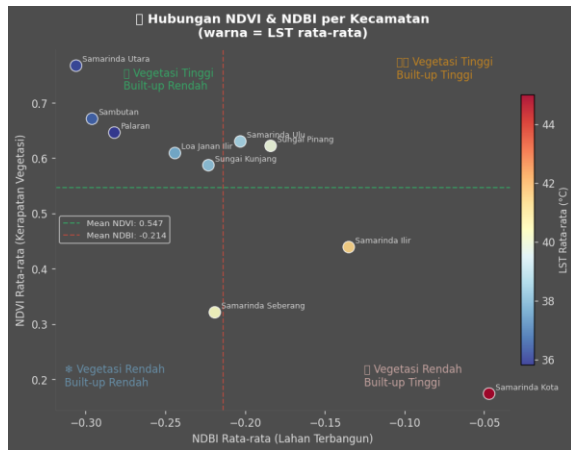
Gambar 9. Peta MNDWI Kota Samarinda

Distribusi MNDWI perkecamatan pada Gambar 10 menunjukkan Loa Janan Ilir merupakan kecamatan yang memiliki badan air paling banyak (MNDWI = -0,74) dan Samarinda Seberang merupakan kecamatan yang memiliki badan air paling sedikit (MNDWI = -0,191).



Gambar 10. Distribusi MNDWI per-Kecamatan Kota Samarinda

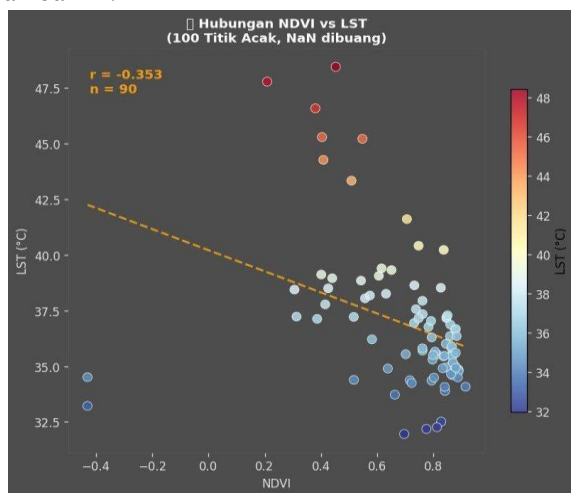
Analisis distribusi NDVI dan NDBI pada Gambar 11 menunjukkan bahwa Samarinda Kota didominasi oleh area terbangun yang padat (NDBI = -0,047) dengan vegetasi minim (NDVI = 0,174). Hal ini kontras dengan Samarinda Utara yang masih didominasi tutupan vegetasi hijau (NDVI = 0,764) dibandingkan lahan terbangun (NDBI = -0,306).



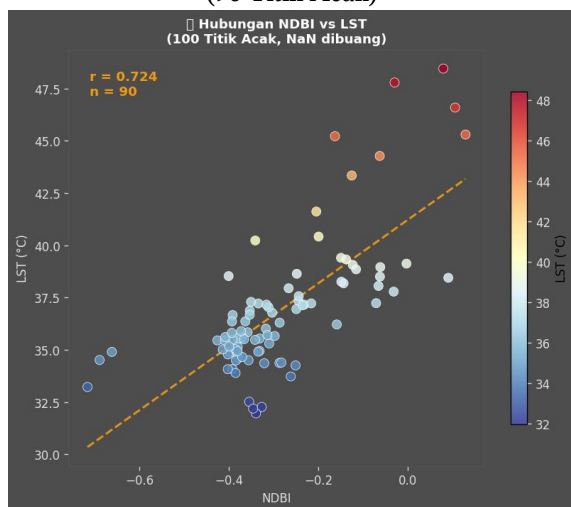
Gambar 11. Diagram NDVI dan NDBI per Kecamatan (Warna LST)

3.5. Hubungan LST dengan Indeks Spektral

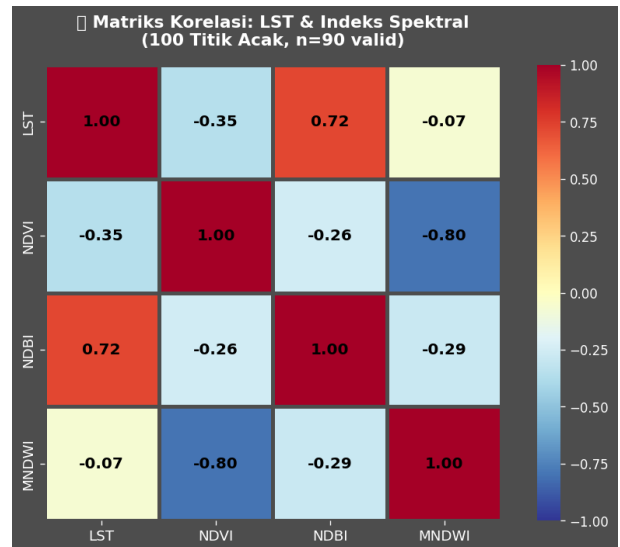
Hubungan antara LST dengan NDVI divisualisasikan melalui *scatter plot* pada Gambar 12 dan 13. Keseluruhan korelasi LST, NDVI, NDBI dan MNDWI dirangkum dalam matriks korelasi pada Gambar 14.



Gambar 12. Hubungan NDVI vs LST (90 Titik Acak)



Gambar 13. Hubungan NDBI vs LST (90 Titik Acak)



Gambar 14. Matriks Korelasi Pearson: LST dan Indeks Spektral (n = 90 titik valid)

NDBI menunjukkan korelasi positif kuat dengan LST ($r = +0,72$), mengkonfirmasi bahwa peningkatan lahan terbangun berkontribusi langsung terhadap peningkatan suhu permukaan. Temuan ini sejalan dengan Taloor et al. (2024) dan Zhang et al. (2009) yang mengidentifikasi *impervious surface area* sebagai prediktor utama LST perkotaan.

NDVI menunjukkan korelasi negatif lemah-sedang dengan LST ($r = -0,35$). Meskipun vegetasi memiliki efek pendinginan melalui evapotranspirasi, korelasi yang tidak terlalu kuat mengindikasikan pengaruh vegetasi terhadap LST bersifat parsial dan dimodulasi faktor lain, konsisten dengan Nguyen et al. (2025). MNDWI menunjukkan korelasi sangat lemah ($r = -0,07$) karena proporsi titik sampel di badan air sangat kecil akibat *masking*. Korelasi kuat NDVI dengan MNDWI ($r = -0,80$), hal ini menandakan area yang lebih basah atau berair cenderung memiliki vegetasi lebih sedikit. Kondisi tersebut mencerminkan distribusi tutupan lahan khas kota tropis basah.

Implikasi dari temuan ini adalah bahwa strategi mitigasi UHI di Samarinda sebaiknya memprioritaskan pengendalian ekspansi lahan terbangun sebagai intervensi paling berpengaruh terhadap LST, diikuti peningkatan ruang terbuka hijau secara strategis di zona UHI tinggi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa LST Kota Samarinda pada musim kemarau 2025 berkisar 12,35–60,69°C dengan rata-rata 36,79°C ($\pm 3,64^\circ\text{C}$), membentuk pola distribusi konsentris dengan nilai tertinggi di pusat kota dan menurun ke arah pinggiran. Zona UHI intensitas tinggi (*High* dan *Very High*) mencakup 131,31 km² atau 21,13% wilayah

kota, dengan Samarinda Kota sebagai episentrum UHI (LST rata-rata 45,01°C) dan Palaran sebagai wilayah terdingin (35,81°C).

NDBI terbukti sebagai prediktor LST terkuat ($r = +0,72$), mengonfirmasi bahwa ekspansi lahan terbangun merupakan pendorong utama intensifikasi UHI. Sementara itu, NDVI menunjukkan korelasi negatif moderat ($r = -0,35$), mengindikasikan bahwa vegetasi berperan sebagai peredam suhu namun masih perlu ditingkatkan cakupannya. Berdasarkan temuan tersebut, mitigasi UHI di Kota Samarinda perlu memprioritaskan pengendalian kepadatan lahan terbangun disertai peningkatan ruang terbuka hijau. Penelitian lanjutan disarankan mencakup analisis temporal multi-tahun dan integrasi data sosial-ekonomi guna pemahaman UHI yang lebih komprehensif.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada rekan-rekan Program Studi Teknologi Rekayasa Geomatika dan Survei Politeknik Pertanian Negeri Samarinda yang telah mendukung penelitian dan penulisan artikel ini.

6. REFERENSI

- Adams, B., Iverson, L., Matthews, S., Peters, M., Prasad, A., & Hix, D. M. (2020). Mapping Forest Composition with Landsat Time Series: An Evaluation of Seasonal Composites and Harmonic Regression. *Remote Sensing*, 12(4), 610. <https://doi.org/10.3390/rs12040610>
- Jamarkattel, U., Lamichhane, B. R., Gautam, S., K.C., N., Sherchan, B., & Horanont, T. (2025). Analyzing Urban Heat Islands in Pokhara Metropolitan City-Nepal through Remote Sensing Techniques. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 37, 101479. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2025.101479>
- Khalil, M., & Kumar, S. J. (2025). Time-series studies of land surface temperature in Damascus, Syria through MODIS by Google Earth Engine. *Advances in Space Research*, 75(2), 1960–1973. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2024.10.044>
- Liu, Q., Xie, M., Wu, R., Xue, Q., Chen, B., Li, Z., & Li, X. (2021). From expanding areas to stable areas: Identification, classification and determinants of multiple frequency urban heat islands. *Ecological Indicators*, 130, 108046. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108046>
- Lu, Y., He, T., Xu, X., & Qiao, Z. (2021). Investigation the Robustness of Standard Classification Methods for Defining Urban Heat Islands. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 11386–11394. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3124558>
- Nguyen, K.-A., Thai, M.-T., Melkamu, T., Le, T.-V., & Liou, Y.-A. (2025). Quantifying the cooling intensity of urban green spaces (UGSs) on land surface temperature (LST) in Hanoi metropolitan Area, Vietnam. *City and Environment Interactions*, 28, 100264. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2025.100264>
- Rashid, N., Alam, J. A. M. M., Chowdhury, Md. A., & Islam, S. L. U. (2022). Impact of landuse change and urbanization on urban heat island effect in Narayanganj city, Bangladesh: A remote sensing-based estimation. *Environmental Challenges*, 8, 100571. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100571>
- Singh, R., & Kapoor, N. (2025). Assessing the impact of land use land cover change and urbanization on urban heat island through remote sensing and geospatial techniques in Jhansi, India (2001–2021). *Urban Climate*, 61, 102432. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102432>
- Sobrino, J. A., Oltra-Carrió, R., Sòria, G., & ... (2013). Evaluation of the surface urban heat island effect in the city of Madrid by thermal remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.716548>
- Taloor, A. K., Parsad, G., Jabeen, S. F., Sharma, M., Choudhary, R., & Kumar, A. (2024). Analytical study of land surface temperature for evaluation of UHI and UHS in the city of Chandigarh India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 35, 101206. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101206>
- USGS. (2024). Collection 2 Landsat 8-9 Pixel Quality Assessment (QA_PIXEL) Value Interpretations | U.S. Geological Survey.
- USGS. (2025). How do I use a scale factor with Landsat Level-2 science products? | U.S. Geological Survey.
- Yang, C., Qin, Y., Wu, H., Zhao, Y., & Che, S. (2025). Urban park green spaces and their potential in regulating urban heat Island (UHI) effects in urban-rural gradient in Shanghai, China. *Sustainable Cities and Society*, 129, 106467. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106467>
- Zhang, Y., Odeh, I. O. A., & Han, C. (2009). Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using a sub-pixel image analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(4), 256–264. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.03.001>