

KETERKAITAN LAND SURFACE TEMPERATURE DENGAN LAND COVER DI UNIVERSITAS INDONESIA PADA TAHUN 2013 DAN 2025

Alisha Nisrina Makarim¹, Devananda Putra Asmara², M. Al Fatih Kurniawan³, M. Emiriansyah Putra⁴, Raditya Alif Abidin⁵, Roddy Aprilian Pratama⁶

^{1,2,3,4,5,6} Departemen Geografi, Universitas Indonesia

alisha.nisrina@ui.ac.id

Artikel Info : diterima 12/06/2025, revisi 13/10/2025, publish 22/12/2025

ABSTRACT

As urbanization continues to grow in the Jabodetabek region, particularly in Depok where the University of Indonesia is located, surface air temperature has increased. This study aims to examine how land cover changes over time influence temperature in this area. Using Landsat 8 OLI/TIRS Collection 2 Tier 1 satellite data, thermal bands (TIRS) were used to extract Land Surface Temperature, while multispectral bands (OLI) were used to generate vegetation indices. Data processing was carried out using Google Earth Engine to obtain LST values for the University of Indonesia. The results show a temperature increase of 4.36°C over 12 years from 2013 to 2025. This rise correlates with land cover transformation driven by infrastructure development in the main campus area. A clear spatial pattern is observed: northern areas exhibit lower temperatures due to dominant vegetation and water bodies, while southern areas show higher temperatures due to built-up areas, asphalt roads, and impervious surfaces. The study concludes that land cover change at the University of Indonesia significantly contributes to the increase in Land Surface Temperature.

Keywords: *LST, University of Indonesia, Remote Sensing*

ABSTRAK

Seiring dengan terus meningkatnya urbanisasi di wilayah Jabodetabek, khususnya di Depok, tempat Universitas Indonesia berada, suhu udara permukaan pun meningkat. Studi ini bertujuan untuk mengkaji bagaimana perubahan tutupan lahan dari waktu ke waktu memengaruhi suhu di wilayah ini. Dengan menggunakan data satelit Landsat 8 OLI/TIRS Collection 2 Tier 1, pita termal (TIRS) digunakan untuk mengekstrak Suhu Permukaan Lahan, sementara pita multispektral (OLI) digunakan untuk menghasilkan indeks vegetasi. Pengolahan data dilakukan menggunakan *Google Earth Engine* untuk mendapatkan nilai LST untuk Universitas Indonesia. Hasilnya menunjukkan peningkatan suhu sebesar 4,36°C selama 12 tahun, dari tahun 2013 hingga 2025. Peningkatan ini berkorelasi dengan transformasi tutupan lahan yang didorong oleh pembangunan infrastruktur di area kampus utama. Pola spasial yang jelas teramat: wilayah utara menunjukkan suhu yang lebih rendah karena vegetasi dan badan air yang dominan, sementara wilayah selatan menunjukkan suhu yang lebih tinggi karena area terbangun, jalan aspal, dan permukaan kedap air. Studi ini menyimpulkan bahwa perubahan tutupan lahan di Universitas Indonesia berkontribusi signifikan terhadap peningkatan Suhu Permukaan Lahan.

Kata Kunci: *LST, Universitas Indonesia, Pengideraan Jauh*

A. LATAR BELAKANG

Urbanisasi merupakan faktor penting yang mendorong terjadinya transformasi penggunaan lahan dalam skala luas dan secara signifikan mengubah karakteristik termal suatu wilayah (Kalnay dan Cai, 2003; Shiflet et al., 2017). Perubahan ini berdampak langsung terhadap dinamika ekosistem lingkungan, terutama ketika lahan alami, seperti hutan atau lahan terbuka, dialihfungsikan menjadi kawasan yang lebih terstruktur dan didominasi oleh aktivitas manusia (Peng et al., 2016). Dalam konteks ini, kondisi termal lingkungan sangat dipengaruhi oleh jenis tutupan lahan yang ada, di mana perbedaan antara permukaan alami dan buatan menciptakan variasi dalam penyerapan dan pelepasan panas.

Kawasan perkotaan, sebagai pusat utama aktivitas manusia, memainkan peran sentral dalam memengaruhi kondisi atmosfer. Dua aspek utama yang menjadi penyebabnya adalah emisi antropogenik, yakni emisi yang dihasilkan dari aktivitas manusia seperti industri dan transportasi, serta bentuk fisik kota atau *urban form* (Oke et al., 2017). *Urban form* mencakup elemen-elemen seperti kerapatan bangunan, pola tata guna lahan, dan struktur jaringan jalan, yang semuanya berkontribusi terhadap penciptaan lingkungan termal khas perkotaan. Selain itu, polusi udara yang dihasilkan dari sektor industri dan kendaraan bermotor turut memperburuk kualitas atmosfer di wilayah perkotaan, memperkuat dampak dari perubahan penggunaan lahan.

Dalam konteks ini, universitas dapat dilihat sebagai satuan spasial yang menarik untuk dikaji, terutama dalam studi mengenai iklim perkotaan (*urban climate*). Beberapa penelitian menganggap universitas sebagai “kota kecil” karena memiliki cakupan wilayah yang luas, jumlah populasi yang signifikan, serta aktivitas yang berlangsung intensif hampir sepanjang hari (Fauzan et al., 2022). Meskipun secara administratif terletak di dalam wilayah perkotaan, lingkungan vegetasi di sekitar kampus sering kali dianggap menyerupai kawasan pedesaan (Wong et al., 2007), karena keberadaan ruang terbuka hijau yang cukup dominan. Namun, kepadatan penduduk dan tingginya intensitas aktivitas akademik dan sosial yang berlangsung menjadikan kawasan universitas sebagai cerminan dinamika termal yang kompleks, menyerupai karakteristik lingkungan perkotaan pada umumnya (Yang et al., 2022).

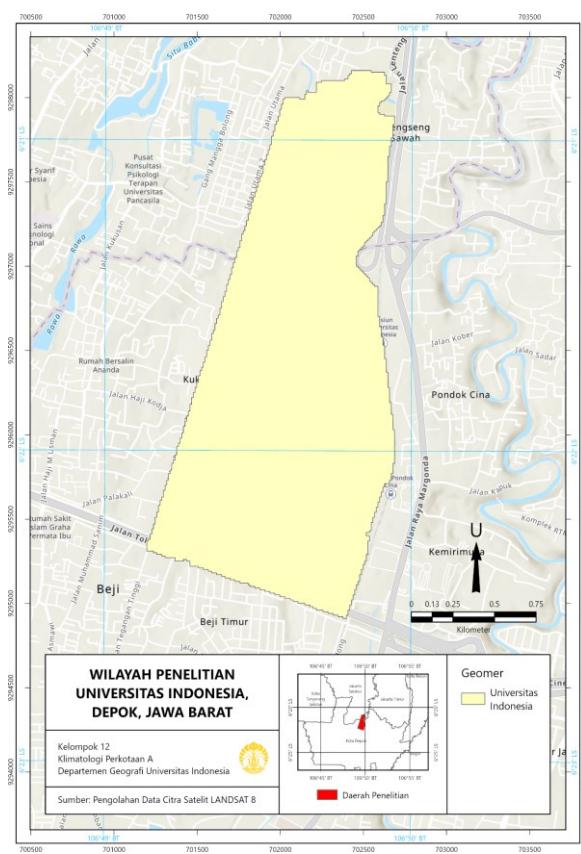
Keterkaitan Land Surface Temperature...

Alisha Nisrina Makarim, Devananda Putra Asmara, M. Al Fatih Kurniawan, M. Emiriansyah Putra, Raditya Alif Abidin, Roddy Aprilian Pratama

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis spasiotemporal terhadap perubahan suhu permukaan lahan (*land surface temperature/LST*) dan dinamika perubahan tutupan lahan (*land cover*) dalam kurun waktu 2013 hingga 2025. Analisis dilakukan dengan memanfaatkan citra satelit Landsat 8, khususnya kanal termal untuk ekstraksi nilai LST serta digitasi secara langsung untuk mengidentifikasi klasifikasi perubahan tutupan lahan.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini berlokasi di Kampus Universitas Indonesia, yang terletak di perbatasan Jakarta dan Kota Depok, Jawa Barat. Universitas Indonesia memiliki area seluas 320 ha dengan 15 fakultas dan beberapa area pendukung seperti auditorium, rumah sakit, dan hutan kota. Penelitian ini akan menganalisis keterkaitan antara land cover atau tutupan lahan dengan Land Surface Temperature di Universitas Indonesia pada tahun 2013 dan 2025.



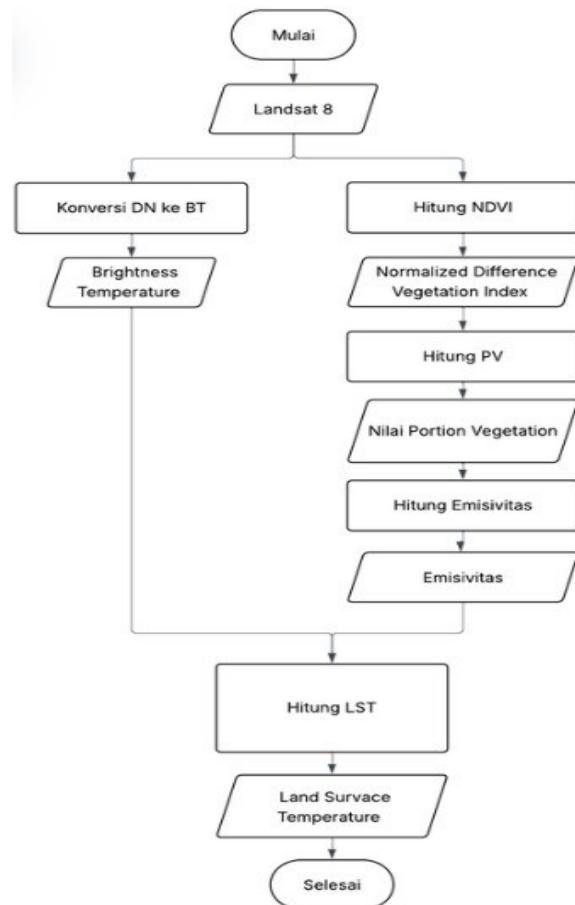
Gambar 1. Wilayah Penelitian

Land Surface Temperature (LST) adalah parameter krusial yang memengaruhi pertukaran energi dan air antara permukaan daratan dan atmosfer (Kirner et al., 2024). Dalam mengidentifikasi LST, citra satelit Landsat 8 (OLI/TIRS) digunakan dengan mengekstrak informasi dari band termalnya (Imroah & Setiawan, 2024).

Untuk mendapatkan nilai LST akhir dari citra tersebut, diperlukan serangkaian komponen hasil olahan yang mencakup nilai *Top of Atmosphere* (TOA) *Radiance* yang dikonversi dari data mentah, *Brightness Temperature* (BT), dan *Land Surface Emissivity* (LSE) sebagai faktor koreksi (Kirner et al., 2024; Imroah & Setiawan, 2024). Nilai LSE ini sering kali diturunkan dari *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), yaitu sebuah indeks yang mengukur tingkat kerapatan vegetasi di suatu area (Kimothi et al., 2023; Imroah & Setiawan, 2024; Kirner et al., 2024).

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS *Collection 2 Tier 1*. Data ini dipilih karena memiliki band termal (TIRS) yang diperlukan untuk ekstraksi LST dan band multispektral (OLI) untuk perhitungan indeks vegetasi. Seluruh proses pengolahan data, mulai dari akuisisi citra hingga analisis akhir, dilaksanakan menggunakan platform komputasi awan *Google Earth Engine* (GEE). Penggunaan GEE memungkinkan pemrosesan data geospasial skala besar secara efisien tanpa bergantung pada spesifikasi perangkat keras lokal.

Selain itu, pemanfaatan *Google Earth Engine* juga memudahkan integrasi berbagai dataset pendukung seperti peta penggunaan lahan, model elevasi, dan data curah hujan, sehingga analisis dapat dilakukan secara lebih komprehensif dalam satu ekosistem pemrosesan. *Platform* ini menyediakan beragam algoritma dan fungsi analitis yang memungkinkan peneliti melakukan koreksi radiometrik, ekstraksi parameter lingkungan, hingga visualisasi hasil secara cepat dan akurat. Dengan demikian, GEE tidak hanya mempercepat alur kerja penelitian, tetapi juga meningkatkan ketelitian dalam pemetaan kondisi lingkungan.



Gambar 2. Alur Kerja Pengolahan Data Sateli

Proses ekstraksi nilai LST dilakukan sepenuhnya di dalam platform GEE melalui serangkaian tahapan komputasi yang diotomatisasi menggunakan skrip *JavaScript*. Berikut adalah langkah-langkah utama beserta rumus yang digunakan:

1. Akuisisi dan Pra-pemrosesan Citra: Proses diawali dengan memuat koleksi citra LANDSAT/LC08/C02/T1 di GEE. Citra kemudian disaring berdasarkan batas area studi (Kampus UI) dan tanggal akuisisi yang telah ditentukan. Untuk meminimalisir pengaruh atmosfer, diterapkan filter tutupan awan dengan ambang batas di bawah 50 ($CLOUD_COVER < 50\%$). Citra dengan tutupan awan terendah pada setiap tanggal akan dipilih untuk diproses lebih lanjut.

2. Koreksi Radiometrik (*TOA Radiance*): Nilai *Digital Number* (DN) dari *band* termal (Band 10) dikonversi menjadi nilai radiansi spektral di puncak atmosfer (*Top of Atmosphere* - TOA). Proses ini menggunakan faktor pengali dan penambah radiansi yang tersedia dalam metadata citra. Konversi ini dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$L\lambda = (M\lambda \times DN) + A\lambda$$

Di mana:

$L\lambda$: Radiansi spektral TOA

$M\lambda$: Faktor pengali radiansi spesifik band

$A\lambda$: Faktor penambah radiansi spesifik band

DN : Nilai *Digital Number* piksel

3. Konversi Suhu Kecerahan (*Brightness Temperature* - BT): Nilai radiansi TOA selanjutnya dikonversi menjadi suhu kecerahan (*Brightness Temperature* - BT) dalam satuan Kelvin. Konversi ini menggunakan konstanta termal K1 dan K2 yang juga diekstrak dari metadata citra. Konversi dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$LT = \frac{K2}{\ln \left(\frac{K1}{L\lambda} + 1 \right)}$$

Di mana:

BT : Suhu kecerahan (*Brightness Temperature*) dalam Kelvin (K)

K1 : Konstanta konversi termal 1

K2 : Konstanta konversi termal 2

$L\lambda$: Nilai radiansi spektral TOA

4. Perhitungan Indeks Vegetasi dan Emisivitas:

- a. NDVI: Untuk memperhitungkan pengaruh kerapatan vegetasi, dihitung *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) menggunakan band inframerah dekat/NIR (Band 5) dan band merah (Band 4).

Keterkaitan Land Surface Temperature...

Alisha Nisrina Makarim, Devananda Putra Asmara, M. Al Fatih Kurniawan, M. Emiriansyah Putra, Raditya Alif Abidin, Roddy Aprilian Pratama

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

- b. Proporsi Vegetasi (Pv): Dari nilai NDVI, dihitung proporsi vegetasi (*Proportional Vegetation* - Pv) dengan menormalisasi nilai NDVI berdasarkan nilai minimum dan maksimumnya di seluruh area studi.

$$Pv = \left(\frac{NDVI - NDVI \min}{NDVI \max - NDVI \min} \right)^2$$

- c. Emisivitas Permukaan (LSE): Nilai emisivitas permukaan tanah (*Land Surface Emissivity* - LSE) diestimasi berdasarkan nilai Pv menggunakan metode empiris yang diimplementasikan dalam skrip.

$$\varepsilon = 0.004 \times Pv + 0.986$$

- d. Perhitungan Akhir LST: Langkah terakhir adalah menghitung nilai LST dalam satuan Celcius (°C). Proses ini dilakukan dengan mengoreksi nilai BT menggunakan nilai LSE yang telah dihitung sebelumnya, sesuai dengan algoritma inversi persamaan Planck, lalu dikonversi ke Celcius. Persamaannya adalah berikut:

$$LST = \frac{BT}{1 + \left(\frac{\lambda \times BT}{c2} \right) \ln(\varepsilon)} - 273,15$$

Di mana:

LST : *Land Surface Temperature* dalam Celcius (°C)

BT : *Brightness Temperature* dalam Kelvin (K)

λ : Panjang gelombang pusat band termal (10.8 μm untuk Band 10 Landsat 8)

c2 : Konstanta kedua radiasi Planck (14388 μmK)

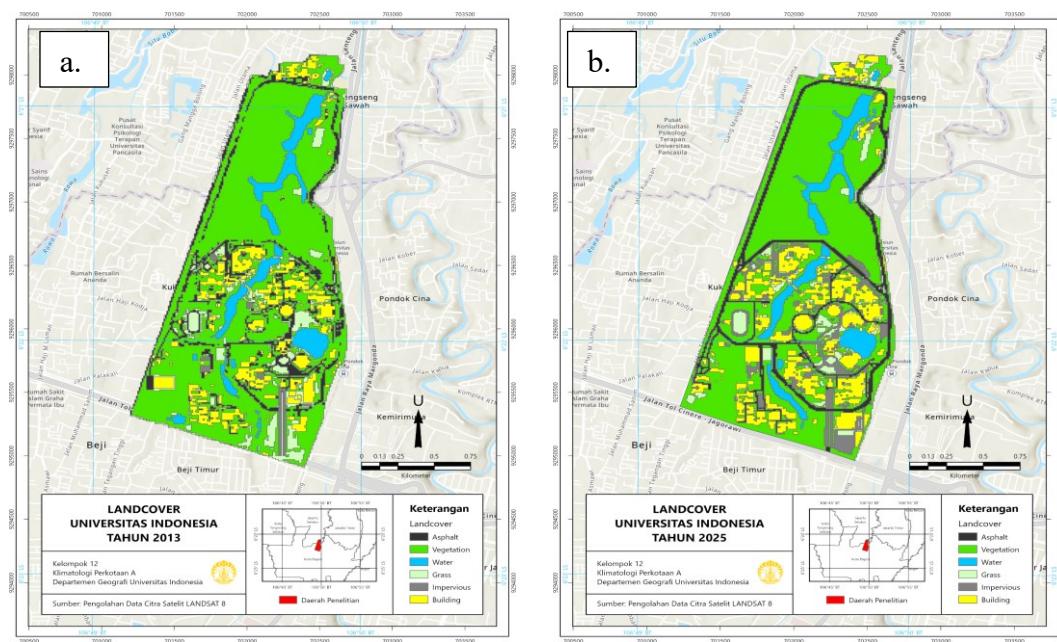
ε : Emisivitas Permukaan Tanah (LSE)

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Land Cover

Perbandingan antara peta tutupan lahan tahun 2013 dan 2025 menunjukkan adanya perubahan signifikan dalam struktur spasial kawasan Universitas Indonesia. Pada tahun 2013, sebagian besar wilayah kampus masih didominasi oleh tutupan vegetasi, seperti pepohonan, lahan hijau, serta keberadaan badan air seperti danau dan sungai yang tersebar di Kawasan Universitas Indonesia. Tutupan vegetasi ini berperan besar dalam menjaga kestabilan suhu permukaan melalui proses evapotranspirasi dan penyerapan karbon.

Namun, pada tahun 2025, terjadi alih fungsi tutupan lahan yang cukup masif menjadi area terbangun. Berdasarkan observasi melalui Google Earth Pro, alih fungsi tersebut mencakup pembangunan Balai Purnomo, Gedung Fakultas Ilmu Administrasi yang baru, perluasan Rumah Sakit UI (RSUI), pembangunan fasilitas publik seperti Felfest UI dan Skybridge, serta gedung-gedung baru seperti CCIT, Pusat Kegiatan Mahasiswa, dan beberapa gedung di area Vokasi UI. Konversi lahan vegetasi menjadi permukaan terbangun ini menghilangkan fungsi alami peneduh dan pendingin yang dimiliki vegetasi. Permukaan keras seperti bngunan, aspal, dan beton cenderung menyerap radiasi matahari.



Gambar 3 Perbandingan *Land Cover* Universitas Indonesia (a) Tahun 2013 dan (b) 2025

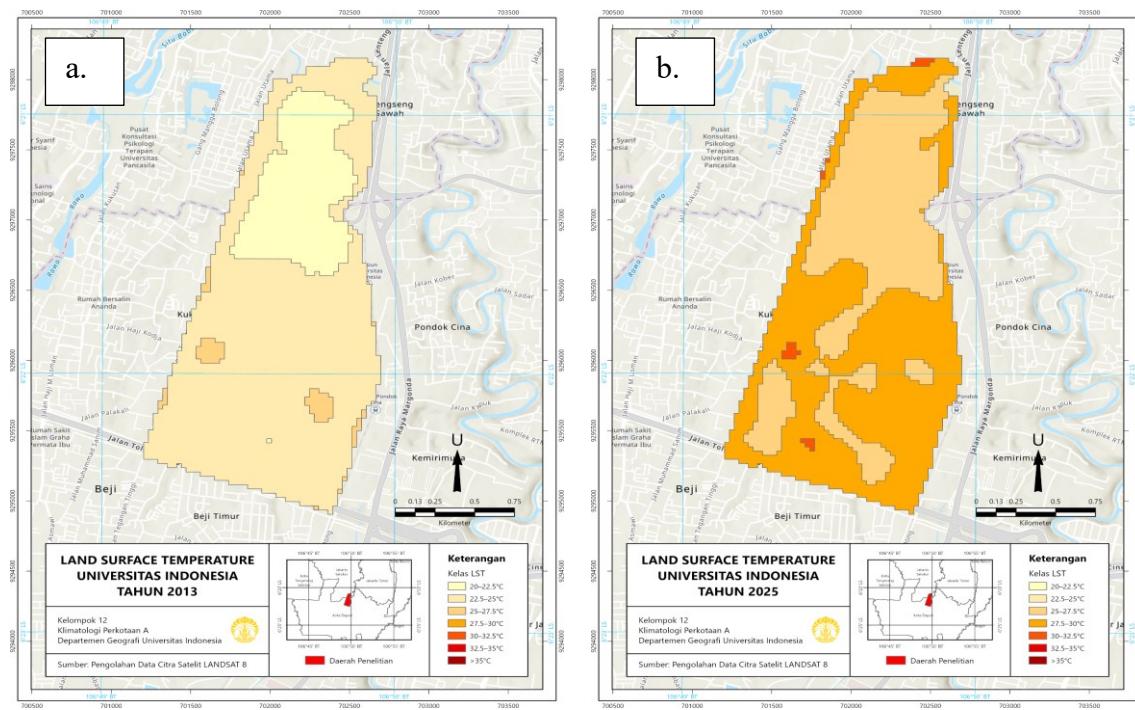
Keterkaitan Land Surface Temperature...

Alisha Nisrina Makarim, Devananda Putra Asmara, M. Al Fatih Kurniawan, M. Emiriansyah Putra, Raditya Alif Abidin, Roddy Aprilian Pratama

2. Land Surface Temperature

Secara umum, terjadi perubahan suhu menjadi lebih tinggi pada rentang tahun 2013 ke 2025. Hal ini berkaitan dengan terjadinya banyak alih fungsi tutupan lahan dari yang awalnya vegetasi menjadi lahan terbangun. Konversi permukaan vegetasi menjadi permukaan kedap air atau terbangun (Mallick et al., 2008) atau lahan terbuka (Pal & Akoma, 2009) menyebabkan peningkatan suhu permukaan. Menilik karakteristiknya, Joshi and Bhatt (2012) menjelaskan bahwa badan air dan vegetasi memiliki suhu yang lebih rendah dibanding area terbangun. Perubahan-perubahan ini memengaruhi tingkat penyerapan radiasi matahari, albedo, suhu permukaan, laju evaporasi, transmisi panas ke dalam tanah, penyimpanan panas, serta turbulensi angin, yang secara drastis dapat mengubah kondisi atmosfer dekat-permukaan di atas kota (Mallick et al., 2008).

Berdasarkan hasil analisis *Land Surface Temperature* (LST), pada bulan Juni 2013 suhu permukaan di Universitas Indonesia berada pada rentang yang lebih rendah dibandingkan tahun 2025, dengan nilai minimum tercatat sebesar 21.63°C, maksimum 26.80°C, dan rata-rata 23.28°C. Sementara itu, pada tahun 2025, terjadi peningkatan yang cukup signifikan, dengan nilai minimum mencapai 26.04°C, maksimum 31.51°C, dan rata-rata 27.64°C. Kenaikan ini menunjukkan adanya peningkatan suhu permukaan rata-rata sebesar 4.36°C dalam kurun waktu 12 tahun. Rentang suhu ini juga menggambarkan adanya perbedaan termal yang cukup besar antar wilayah di dalam kampus, yang mana berkaitan erat dengan variasi jenis tutupan lahan di kawasan tersebut. Secara spasial, distribusi suhu pada tahun 2025 memperlihatkan variasi yang lebih ekstrim dibandingkan tahun 2013. Distribusi suhu permukaan (*Land Surface Temperature*) di kawasan Universitas Indonesia menunjukkan adanya perubahan signifikan antara tahun 2013 dan 2025.



Gambar 4 Perbandingan LST Universitas Indonesia (a) Tahun 2013 dan (b) 2025

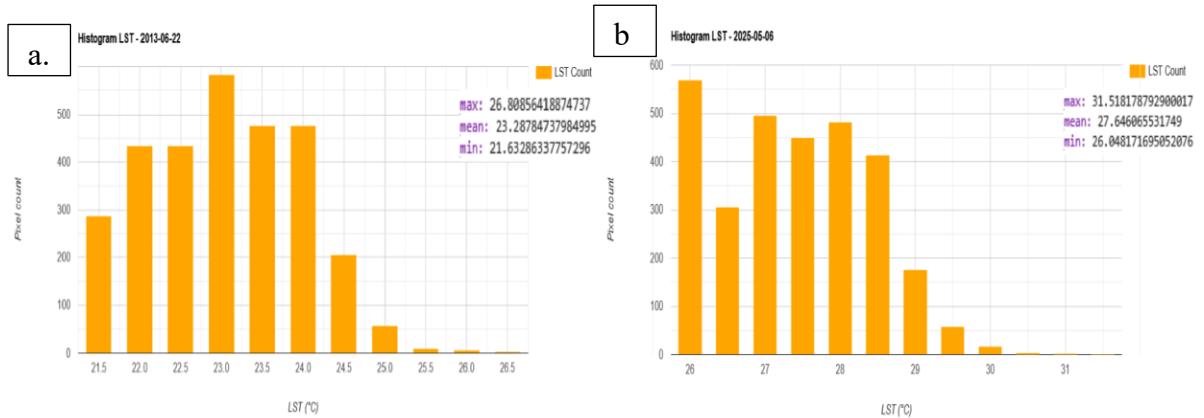
Pada tahun 2013, distribusi LST menunjukkan bahwa wilayah Universitas Indonesia memiliki nilai LST yang relatif rendah dengan dominasi suhu berada di antara 20-25°C. Kemudian, dapat dilihat bahwa nilai distribusi LST terendah dengan rentang nilai 20-22.5°C terletak di bagian utara hingga tengah kawasan Universitas Indonesia yang mana, hal ini disebabkan oleh dominasi tutupan lahan vegetasi dan badan air. Selain itu, wilayah dengan suhu permukaan yang lebih tinggi (antara 22.5-25°C) yang hampir mendominasi wilayah Universitas Indonesia dengan klasifikasi jenis tutupan lahan yang terdiri dari bangunan, jalan aspal, dan permukaan keras (*impervious*), yang kemudian terdapat juga beberapa lokasi dengan rentang suhu yang lebih tinggi lagi dengan nilai (25-27.5°C) yang merupakan wilayah terbangun berdasarkan jenis tutupan lahannya.

Keterkaitan Land Surface Temperature...

Alisha Nisrina Makarim, Devananda Putra Asmara, M. Al Fatih Kurniawan, M. Emiriansyah Putra, Raditya Alif Abidin, Roddy Aprilian Pratama

Sedangkan, pada tahun 2025, distribusi LST menunjukkan bahwa wilayah dengan suhu permukaan yang lebih rendah (25–27.5°C) umumnya terletak di bagian utara hingga tengah kawasan Universitas Indonesia dan beberapa area selatan kampus, yang mana pada peta tutupan lahan didominasi oleh kelas tutupan lahan vegetasi maupun badan air. Sebaliknya, wilayah dengan suhu permukaan yang lebih tinggi (27.5–30°C) umumnya terletak di bagian tengah hingga ke bagian selatan kawasan Universitas Indonesia, serta tersebar di beberapa area di bagian utara, timur dan barat kampus. Berdasarkan peta tutupan lahan, area-area dengan suhu yang lebih tinggi ini didominasi oleh tutupan lahan bangunan, jalan beraspal, dan permukaan keras lainnya (*impervious surfaces*) yang secara termal dapat menyerap dan menyimpan panas dengan cukup baik. Selain itu, terdapat juga sedikit titik-titik dengan suhu ekstrem di atas 31°C yang digambarkan dengan warna merah gelap pada peta LST yang mana cenderung berada di sekitar area terbangun. Meski terjadi perubahan, terdapat fasilitas yang terlihat konsisten dalam memiliki suhu yang tinggi, yakni Stadion UI dan Lapangan PNJ. Diketahui dari hasil survei lapangan, keduanya merupakan lapangan yang permukaannya dilapisi rumput sintetis. Hal ini selaras dengan temuan Carvalho et al. (2021) yang menunjukkan bahwa rumput sintetis menyerap energi surya yang banyak serta memerangkap panas di permukaannya, menyebabkan fluks panas (*soil heat* dan *sensible heat*) yang tinggi.

Selanjutnya, distribusi suhu permukaan ini juga ditampilkan melalui histogram yang memperlihatkan jumlah piksel berdasarkan nilai LST. Berdasarkan histogram tersebut, Pada tahun 2013 mayoritas piksel berada pada kisaran suhu 21.5 – 24°C, dengan frekuensi tertinggi berada pada suhu 23°C. Sedangkan, Pada tahun 2025 mayoritas piksel berada pada kisaran suhu 26 – 28.5°C, dengan frekuensi tertinggi berada pada suhu 26°C. Pada tahun 2013 dan 2025 dapat dilihat juga jumlah piksel masing-masing tahun menurun tajam pada rentang 24,5 – >25°C dan 29 – >30°C yang menandakan bahwa area dengan suhu ekstrem relatif kecil dalam proporsi total area kampus. Bentuk distribusi suhu masing-masing tahun ini juga bersifat right-skewed yang menunjukkan bahwa meskipun sebagian besar wilayah masih berada dalam kisaran suhu sedang, terdapat ekor data yang memperlihatkan akumulasi panas pada wilayah tertentu.



Gambar 5. Histogram LST Universitas Indonesia (a) Tahun 2013 dan (b) 2025

Dengan hasil di atas, jenis tutupan lahan terbukti memainkan peran penting dalam membentuk pola LST. Tutupan vegetasi, seperti pohon besar dan vegetasi lainnya, memiliki kemampuan dalam menurunkan suhu permukaan secara signifikan. Proses evapotranspirasi, penyerapan karbon, serta peran kanopi sebagai peneduh langsung menjadikan area hijau sebagai penyerap dan penyebar panas yang efektif. Sementara itu, permukaan buatan seperti bangunan, jalan aspal, dan beton tidak hanya menyerap panas lebih besar tetapi juga melepaskannya secara lambat, menyebabkan suhu tetap tinggi bahkan hingga matahari terbenam.

Keberadaan permukaan-permukaan ini memperparah efek pulau panas, terlebih di wilayah yang padat dan minim ruang terbuka hijau. Selain itu, badan air seperti danau dan sungai yang tersebar di area UI, memberikan dampak termal yang berbeda. Meskipun tidak termasuk dalam kategori vegetasi, air memiliki kapasitas panas tinggi yang memungkinkan suhu permukaannya relatif stabil. Kehadiran elemen air dapat membantu menyeimbangkan suhu lokal, berfungsi sebagai pendingin alami pada siang hari, dan mengurangi fluktuasi suhu ekstrem.

Keterkaitan Land Surface Temperature...

Alisha Nisrina Makarim, Devananda Putra Asmara, M. Al Fatih Kurniawan, M. Emiriansyah Putra, Raditya Alif Abidin, Roddy Aprilian Pratama

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, tutupan lahan cukup memengaruhi *Land Surface Temperature* (LST) secara signifikan akibat material penyusunnya, contohnya terdapat pada tutupan lahan Stadion UI menunjukkan peningkatan LST yang mencolok. Kemudian, terjadi alih fungsi lahan vegetasi menjadi bangunan yang meningkatkan LST secara drastis. Selanjutnya, air memiliki suhu LST paling tinggi dibandingkan jenis tutupan lahan yang lain. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh waktu pengambilan dan kondisi dimana langit lebih terik. Secara umum, hasil pengolahan citra menunjukkan bahwa LST paling tinggi terdapat di lahan terbuka, sedangkan nilai terendah berada pada area yang didominasi oleh air. Selain itu, terlihat adanya tren peningkatan suhu permukaan dari tahun 2013 hingga 2025.

Dengan demikian, hasil ini menegaskan bahwa variasi LST di kawasan Universitas Indonesia sangat erat kaitannya dengan pola distribusi tutupan lahan. Pemahaman ini penting dalam konteks perencanaan tata ruang dan pengelolaan lingkungan kampus. Untuk menurunkan suhu permukaan secara berkelanjutan, strategi seperti peningkatan tutupan vegetasi, pemanfaatan material bangunan ramah lingkungan, dan integrasi elemen air perlu diperkuat. Hal ini sejalan dengan prinsip kampus hijau dan pembangunan yang adaptif terhadap perubahan iklim, sekaligus menjadi langkah mitigasi terhadap fenomena pulau panas perkotaan dalam skala mikro

E. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian di atas, perencanaan pembangunan di kawasan Universitas Indonesia harus dilakukan secara berkelanjutan dan adaptif terhadap perubahan iklim, dengan mempertimbangkan dampaknya terhadap peningkatan suhu permukaan. Upaya yang dapat dilakukan antara lain adalah penambahan dan pelestarian ruang terbuka hijau, penggunaan material bangunan ramah lingkungan, serta optimalisasi badan air sebagai elemen pendingin alami. Selain itu, partisipasi aktif sivitas akademika juga perlu ditingkatkan melalui program kampus hijau dan edukasi lingkungan, sehingga pengelolaan kawasan kampus dapat berjalan secara kolaboratif dan berkelanjutan.

F. DAFTAR RUJUKAN

- Carvalho, H. D., Chang, B., McInnes, K. J., Heilman, J. L., Wherley, B., & Aitkenhead-Peterson, J. A. (2021). Energy balance and temperature regime of different materials used in urban landscaping. *Urban Climate*, 37, 100854. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100854>
- Fauzan, N. F., Wibowo, A., & Shidiq, I. P. A. (2022, February). Spatial analysis of air surface temperature using M-AST model in complex sub-urban area. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 986, No. 1, p. 012070). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/986/1/012070>
- Imroah, F. F. K., & Setiawan, N. (2024). Integration of Landsat-8 OLI/TIRS and Sentinel-1A PolSAR for analyzing land surface temperature and its anomalies linked to ENSO in Surakarta, Indonesia. *Geomatica*, 76, 100038. <https://doi.org/10.1016/j.geomat.2024.100038>
- Joshi, K., & Bhatt, D. (2012). Distribution and abundance of avifauna in relation to elevation and habitat types in Nainital district (Western Himalaya) of Uttarakhand state, India. *Current Zoology*, 57(3), 318–329.
- Kalnay, E., & Cai, M. (2003). Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 423(6939), 528–531. <https://doi.org/10.1038/nature01675>
- Kimothi, S., Thapliyal, A., Gehlot, A., Aledaily, A. N., gupta, A., Bilandi, N., Singh, R., Malik, P. K., & Akram, S. V. (2023). Spatio-temporal fluctuations analysis of land surface temperature (LST) using Remote Sensing data (LANDSAT TM5/8) and multifractal technique to characterize the urban heat Islands (UHIs). *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 55, 102956. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102956>
- Kirner, D., Láska, K., & Stachon, Z. (2024). Assessment and validation of Land Surface Temperature retrieval algorithms using Landsat 8 TIRS data in Antarctic ice-free areas. *Polar Science*, 42, 101127. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2024.101127>
- Mallick, J., Kant, Y., & Bharath, B. D. (2008). Estimation of land surface temperature over Delhi using Landsat-7 ETM+. *J. Ind. Geophys. Union*, 12(3), 131–140.
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press.

Peng, J., Xie, P., Liu, Y., & Ma, J. (2016). Urban thermal environment dynamics and associated landscape pattern factors: A case study in the Beijing metropolitan region. *Remote Sensing of Environment*, 173, 145–155.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.027>

Shiflett, S. A., Liang, L. L., Crum, S. M., Feyisa, G. L., Wang, J., & Jenerette, G. D. (2017). Variation in the urban vegetation, surface temperature, air temperature nexus. *Science of the Total Environment*, 579, 495–505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.136>

Wong, N. H., Jusuf, S. K., La Win, A. A., Thu, H. K., Negara, T. S., & Xuchao, W. (2007). Environmental study of the impact of greenery in an institutional campus in the tropics. *Building and Environment*, 42(8), 2949–2970.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.009>

Yang, J., Zhao, Y., Zou, Y., Xia, D., Lou, S., Liu, W., & Ji, K. (2022). Effects of tree species and layout on the outdoor thermal environment of squares in hot-humid areas of China. *Buildings*, 12(11), 1867. <https://doi.org/10.3390/buildings12111867>