

Spatiotemporal LCZ dan Hubungannya dengan Fenomena UHI di Kawasan Universitas Diponegoro Tembalang

Bayu Rizqi^{1*} dan Adi Wibowo¹

¹Departemen Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia; e-mail: bayu.rizqi@ui.ac.id

ABSTRAK

Transformasi spasial yang pesat akibat ekspansi kampus telah membentuk ulang morfologi kawasan Undip Tembalang dan berpotensi memperkuat efek UHI lokal. Penelitian ini bertujuan mengkaji perubahan spasio-temporal LCZ serta hubungannya dengan LST untuk memahami bagaimana proses Studentifikasi memengaruhi iklim mikro kampus. Analisis dilakukan menggunakan citra resolusi tinggi dari Google Earth Pro dan Landsat 8 (OLI/TIRS) tahun 2015 dan 2024, dengan klasifikasi LCZ berbasis grid 100×100 m serta perhitungan LST menggunakan algoritma split-window. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan LCZ3 (padat bertingkat rendah) dari 180.000 m² (4,17%) menjadi 470.000 m² (10,88%) dan kemunculan LCZ4, disertai penurunan luas zona vegetatif (LCZA-LCZB). Suhu permukaan rata-rata naik dari 27,38 °C menjadi 28,00 °C, sementara suhu maksimum harian meningkat tajam dari 32,05 °C menjadi 33,71 °C, menandakan penguatan UHI. Overlay peta menunjukkan LCZ padat (LCZ3-LCZ4-LCZ6) memiliki LST tertinggi (29,04-30,72 °C), sedangkan zona vegetatif (LCZA-LCZG) tetap terendah (23,57-25,35 °C). Korelasi peringkat Spearman menunjukkan hubungan positif kuat antara kepadatan morfologi dan LST ($\rho = 0,90$ pada 2015 dan $\rho = 0,78$ pada 2024), menegaskan bahwa peningkatan kepadatan bangunan memperkuat UHI sekaligus menciptakan heterogenitas termal yang lebih tinggi. Penelitian ini menawarkan pendekatan baru LCZ-LST berskala mikro untuk kawasan kampus tropis, serta memberi bukti empiris dan acuan metodologis bagi studi sejenis. Temuan ini menegaskan pentingnya strategi perencanaan spasial kampus yang mengintegrasikan infrastruktur hijau, permukaan permeabel, dan material beralbedo tinggi untuk memitigasi UHI dan meningkatkan kenyamanan termal di kawasan akademik yang mengalami urbanisasi pesat.

Kata kunci: LCZ, Mitigasi dan Adaptasi UHI, Transformasi Urban, Kawasan Pendidikan Undip, UHI

ABSTRACT

Rapid spatial transformation driven by campus expansion has reshaped the urban morphology of the Undip Tembalang area, potentially intensifying local UHI effects. This study investigates spatiotemporal changes in LCZ and their relationship to LST to understand how studentification-driven densification affects campus microclimate. High-resolution imagery from Google Earth Pro and Landsat 8 (OLI/TIRS) in 2015 and 2024 was analyzed to classify LCZ using 100×100 m grids and to derive LST through the split-window algorithm. The results show a substantial increase in LCZ3 (compact low-rise) from 180,000 m² (4.17%) to 470,000 m² (10.88%) and the emergence of LCZ4, while vegetated zones (LCZA-LCZB) declined significantly. Mean surface temperature increased from 27.38 °C to 28.00 °C, and daily maximum temperature rose markedly from 32.05 °C to 33.71 °C, indicating a strengthened UHI effect. Overlay analysis reveals that dense built-up LCZs (LCZ3-LCZ4-LCZ6) recorded the highest LST (29.04-30.72 °C), whereas vegetated zones (LCZA-LCZG) remained the coolest (23.57-25.35 °C). Spearman's rank correlation shows a strong positive relationship between morphological density and LST ($\rho = 0.90$ in 2015; $\rho = 0.78$ in 2024), confirming that increasing built-up density amplifies UHI while also generating greater thermal heterogeneity. This study contributes a novel micro-scale LCZ-LST framework for tropical campus environments, offering empirical evidence and methodological references for future studies. The findings underscore the need for spatial planning strategies that incorporate green infrastructure, permeable surfaces, and high-albedo materials to mitigate UHI and improve thermal comfort in rapidly urbanizing academic areas.

Keywords: LCZ, UHI mitigation-adaptation, urban transformation, Undip campus area, UHI

Citation: Rizqi, B. dan Wibowo, A. (2025). *Spatiotemporal LCZ dan Hubungannya dengan Fenomena UHI di Kawasan Universitas Diponegoro Tembalang*. Jurnal Ilmu Lingkungan, 23(5), 1280-1291, doi:10.14710/jil.23.5.1280-1291

1. PENDAHULUAN

Universitas Diponegoro (Undip) Kampus Tembalang telah menjadi katalis transformasi urban di Kota Semarang bagian atas sejak relokasinya dari Pleburan pada 1996 (Marhendriyanto, 2003).

Kehadirannya mendorong perubahan tata ruang yang masif dari lahan pertanian dan perkebunan menjadi kawasan permukiman dan komersial yang mendukung aktivitas mahasiswa. Fenomena ini dikenal sebagai studentifikasi, yakni transformasi

ruang kota akibat konsentrasi mahasiswa yang memicu perubahan sosial-ekonomi, kependudukan, dan morfologi urban (Sabri, 2008; Prastiwi & Dewi, 2021). Sejak 2010, ketika sejumlah fakultas utama dipindahkan ke Tembalang, arus pembangunan permukiman dan jasa tumbuh pesat (Samadikun, 2014). Dampak studentifikasi ini tampak pada dominasi pola hunian *House Multiple Occupation* (HMO) yang mencakup 92,2% hunian mahasiswa, sementara *Purpose-Built Student Accommodation* (PBSA) hanya 0,8% (Hapsari & Pradoto, 2013). Dominasi HMO telah menyebabkan fragmentasi lahan, hilangnya ruang terbuka hijau, dan segregasi sosial antara mahasiswa pendatang dan warga lokal. Pola serupa juga dilaporkan secara global, seperti di Quattromiglia, Italia yang mengalami ketidakseimbangan pasar sewa (Salvo et al., 2025) dan Babolsar, Iran yang mengalami degradasi lingkungan (Hoseini & Nematinehr, 2023).

Transformasi lahan akibat studentifikasi ini berkaitan erat dengan perubahan tutupan dan guna lahan (LULC) yang menjadi pemicu utama peningkatan *Urban Heat Island* (UHI). Urbanisasi cepat secara global terbukti meningkatkan *Land Surface Temperature* (LST) dan memperparah ketidaknyamanan termal. Di Mumbai, kawasan urban tumbuh 77,82% dalam tiga dekade disertai lonjakan LST dan zona *thermal discomfort* (Grover & Singh, 2016), dan di Kandy, Sri Lanka, konversi permukaan alami menjadi kedap air meningkatkan intensitas UHI (Ranagalage, Manjula et al., 2018). Hilangnya vegetasi memperburuk kondisi ini: hutan evergreen broadleaf di Guangzhou menurunkan LST rata-rata 1,92°C (Zhou, Siyu et al., 2023), sementara peningkatan *Vegetation Density Ratio* (VDR) 0,10 di Nagpur menurunkan intensitas UHI 0,17°C (Kotharkar, Rajashree et al., 2019). Di Tembalang, pembangunan cepat di koridor Banjarsari–Mulawarman telah mengonversi 70% lahan menjadi perdagangan dan jasa (Sulistiawan & Dewi, 2014), disertai penyusutan vegetasi di Jurang Belimbing, Siwungu–Sigawe, dan Baskoro.

Selain vegetasi, kepadatan dan bentuk bangunan juga memengaruhi iklim mikro. Konsep *Local Climate Zone* (LCZ) menjelaskan bahwa kepadatan, tinggi bangunan, dan material permukaan menentukan distribusi suhu (Stewart & Oke, 2012). Studi di tiga kampus di Guangzhou menunjukkan zona padat (LCZ 1–3) menciptakan efek *Urban Dry Island* (UDI) dan UHI kuat pada malam hari, sedangkan zona terbuka (LCZ 4–6) menghasilkan *Urban Wet-bulb Island* (UWI) yang membantu disipasi panas (Liang, Ze et al., 2020). Di Dhaka, area padat memiliki LST dan *Surface Urban Heat Island* (SUHI) lebih tinggi dibanding area bervegetasi (Shanto, Abdullah Al et al., 2025), dan fenomena serupa mulai muncul di Tembalang yang didominasi LCZ 2–4 (Astuti & Nucifera, 2021).

Secara konseptual, UHI sangat dipengaruhi konfigurasi spasial dan pola penggunaan lahan (Stewart & Oke, 2012). Studi menegaskan bahwa tipologi LCZ seperti 3, 4, dan 6 berkontribusi berbeda

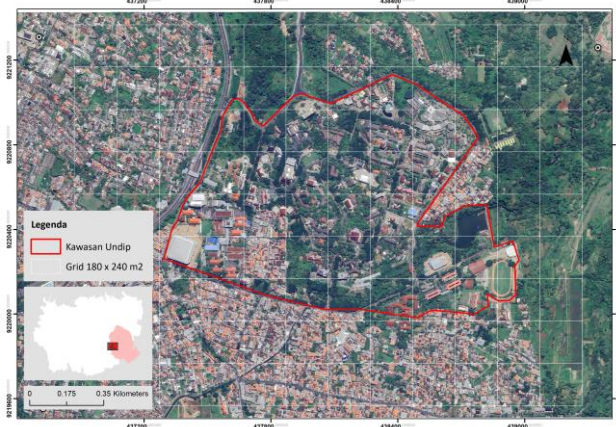
terhadap intensitas UHI (Hong, Chao et al., 2024; Heshmat Mohajer, Hamed Reza et al., 2023). Meski pendekatan LCZ efektif memetakan dan memitigasi UHI, kajian spesifik di lingkungan kampus masih sangat terbatas, terutama di wilayah tropis yang panas-lembap dan lebih rentan terhadap kenaikan suhu ekstrem. Padahal, kampus merupakan simpul urban dengan morfologi unik yang memadukan bangunan padat, ruang terbuka, dan vegetasi. Studi di Kuala Lumpur menunjukkan penambahan ruang hijau menurunkan ketidaknyamanan termal luar ruang (Fong, Chng Saun et al., 2023), dan studi di Greater Noida menegaskan efektivitas material reflektif dalam meningkatkan kenyamanan termal (Tyagi, Gunjan & Danish Md., 2025). Namun, pendekatan serupa belum pernah diterapkan secara sistematis dalam konteks kampus tropis.

Dengan demikian, penelitian ini mengisi kesenjangan penting dalam kajian UHI yang selama ini luput dari perhatian studi-studi UHI berskala kota. Kawasan kampus tropis merepresentasikan lanskap hibrida yang unik memadukan bangunan pendidikan berkepadatan sedang hingga tinggi, hunian mahasiswa padat bertipe HMO, kawasan hutan hingga kantong vegetasi yang tersisa sehingga secara spasial berpotensi menciptakan pola iklim mikro yang lebih kompleks. Studi ini menawarkan kontribusi konseptual, metodologis, dan empiris secara simultan. Secara konseptual, dengan menempatkan kampus tropis sebagai simpul urban yang layak dikaji dalam kerangka LCZ, secara metodologis, dengan menerapkan klasifikasi LCZ berbasis grid resolusi tinggi untuk memetakan dinamika spatiotemporal lanskap kampus selama periode urbanisasi pesat, dan secara empiris, dengan mengkuantifikasi hubungan antara perubahan LCZ dan variasi LST untuk memverifikasi peran densifikasi ruang dan hilangnya vegetasi terhadap penguatan UHI. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi dasar ilmiah bagi perumusan kebijakan penataan ruang dan strategi mitigasi UHI yang kontekstual, adaptif, dan berbasis tipologi LCZ pada kawasan pendidikan.

2. DATA DAN METODOLOGI

2.1. Wilayah Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan Undip Tembalang, Semarang, dengan luas studi 4.320.000 m² yang mencakup area kampus beserta buffer 200–300 meter ke segala arah (Gambar 1). Lokasi ini dipilih karena karakteristiknya yang heterogen, terdiri atas permukiman padat, area terbuka, dan elemen alami seperti pepohonan dan badan air, sehingga representatif untuk menganalisis variabilitas LCZ dan fenomena UHI. Analisis dilakukan pada skala tapak untuk menilai pengaruh perubahan LCZ terhadap iklim mikro lokal, bukan untuk merepresentasikan makroklimat kota secara keseluruhan.



Gambar 1. Area Studi

2.2. Kebutuhan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi citra resolusi tinggi dari Google Earth Pro untuk pemetaan LCZ, serta Citra Satelit Landsat 8 OLI/TIRS *Path* 117 dan *Row* 65 untuk analisis *LST*. Citra Landsat 8 mencakup data dari tahun 2015 dan 2024, dengan Band 10 dan 11 digunakan khusus untuk analisis *LST* (lihat Tabel 1).

Citra tahun 2024 tercatat memiliki cloud cover sebesar 13%, namun sebaran awan tersebut tidak menutupi area wilayah studi di Universitas Diponegoro Tembalang, sehingga tidak memengaruhi hasil ekstraksi dan analisis.

Tabel 1. Akuisisi Data Citra

Tahun	Jenis Citra	Akuisisi Citra	Cloud Cover
2015	Google Earth Pro	Juni 2015	N/A
	Landsat 8 OLI/ TIRS LC08_L2SP_120065_ 20150614_02_T1	14 Juni 2015	2%
	Google Earth Pro	Mei 2015	N/A
2024	Landsat 8 OLI/ TIRS LC08_L2SP_120065_ 20240521_02_T1	21 Mei 2024	13%

Sumber: Hasil Analisis, 2025

2.3. Klasifikasi LCZ, LST dan Hubungannya

Pemetaan LCZ dilakukan dengan pendekatan sistematis menggunakan Grid berukuran 100 m x 100 m, yang menghasilkan total 432 grid untuk analisis manual melalui Google Earth Pro. Pemetaan ini mengacu pada klasifikasi yang dikembangkan oleh Stewart & Oke, (2012), yang mengelompokkan zona iklim lokal berdasarkan karakteristik fisik dan struktural permukaan, seperti area padat tinggi (LCZ 1-3), area longgar (LCZ 4-6), tutupan vegetasi (LCZ A-C), elemen air (LCZ G), serta tanah kosong atau lahan terbuka (LCZ F) dengan detail sebagaimana pada Tabel 2. Berikutnya, untuk memastikan akurasi hasil

pemetaan, validasi dilakukan dengan memanfaatkan *Google Street View* sebagai alat uji lapangan guna memverifikasi konsistensi antara klasifikasi citra dengan kondisi aktual di lapangan.

Analisis suhu permukaan (*LST*) sebagai indikator UHI dilakukan melalui serangkaian langkah sistematis seperti yang dilakukan Avdan & Jovanovska, (2016).

1) Menghitung TOA (*Top of Atmospheric Spectral Radiance*):

$$TOA(L) = ML * Q_{cal} + AL \quad (1)$$

dimana *ML* merupakan faktor skala multiplikatif untuk mengonversi nilai digital menjadi nilai radiansi, *Q_{cal}* merupakan nilai digital pada Band 10, dan *AL* merupakan faktor skala aditif untuk menggeser hasil konversi radiansi agar sesuai dengan skala pengukuran sensor.

2) Konversi TOA ke *Brightness Temperature (BT)*

$$BT = (K2 / (\ln(K1 / L) + 1)) - 273.15 \quad (2)$$

dimana *K1*, *K2* = Konstanta konversi termal dari metadata, *L* = Nilai TOA dan 273.15 digunakan untuk konversi dari Kelvin ke Celsius.

3) Menghitung NDVI (*Normalized Difference Vegetation Indeks*)

$$NDVI = \frac{(Band\ 5 - Band\ 4)}{(Band\ 5 + Band\ 4)} \quad (3)$$

4) Menghitung *Pv (Proporsi Vegetasi)*

$$Pv = \frac{Square((NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})} \quad (4)$$

dimana *NDVI_{min}* dan *NDVI_{max}* adalah nilai minimum dan maksimum NDVI dalam citra.

5) Menghitung Emisivitas Permukaan Lahan (ϵ)

$$\epsilon = 0.004 * Pv + 0.986 \quad (5)$$

6) Menghitung *LST* akhir

$$LST = \frac{BT}{(1 + (0.00115 * BT / 1.4388) * \ln(\epsilon))} \quad (6)$$

dimana *BT* = *Brightness Temperature* (°C), 0.00115 = Panjang gelombang radiasi Band 10), 1.4388 = *h*c/s* (konstanta hasil turunan Konstanta Planck, kecepatan cahaya, dan Konstanta Boltzmann) dan ϵ = Emisivitas Permukaan Lahan.

Tabel 2. Klasifikasi LCZ

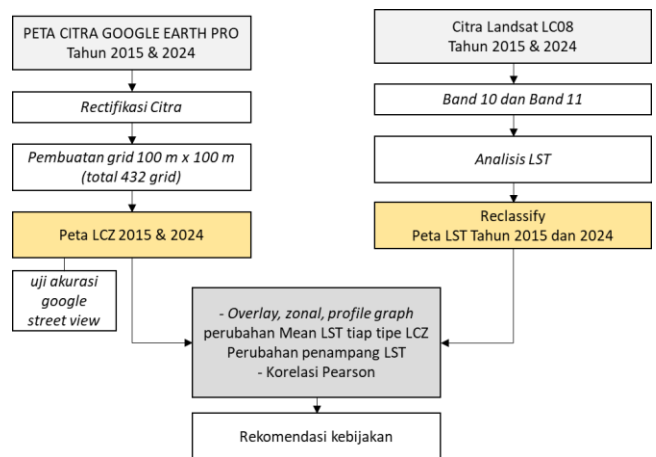
Klasifikasi LCZ	Ilustrasi	Definisi	Klasifikasi LCZ	Ilustrasi	Definisi
		Kerapatan Bangunan		Kerapatan Vegetasi	
LCZ 1: Padat bertingkat tinggi		Bangunan rapat puluhan lantai, minim vegetasi, ruang terbuka sangat terbatas, bahan beton, baja, kaca, rentang suhu harian kecil.	LCZ A: Pohon rapat		Hutan rapat, dominan vegetasi tinggi dan permeabel; fungsi: hutan alam, perkebunan, taman kota.
LCZ 2: Padat bertingkat sedang		Bangunan rapat 3-9 lantai, minim vegetasi, ruang terbuka sempit, bahan bata, genteng, beton, rentang suhu harian kecil.	LCZ B: Pohon tersebar		Pohon jarang, lahan permeabel; fungsi: hutan terbuka, perkebunan, taman kota.
LCZ 3: Padat bertingkat rendah		Bangunan rapat 1-3 lantai, sedikit vegetasi, ruang terbuka terbatas, bahan beton, baja, batu, rentang suhu harian sedang.	LCZ C: Semak, semak belukar		Semak dan pohon pendek jarang, lahan permeabel tanah/pasir: pertanian atau semak belukar.
LCZ 4: Longgar bertingkat tinggi		Bangunan jarak renggang puluhan lantai, vegetasi rendah, bahan beton, baja, kaca, rentang suhu harian kecil.	LCZ D: Tanaman rendah		Lanskap terbuka rumput/semak, minim pohon; fungsi: lahan pertanian atau taman kota.
LCZ 5: Longgar bertingkat sedang		Bangunan jarak renggang 3-9 lantai, vegetasi rendah, bahan bata, genteng, beton, rentang suhu harian sedang.	LCZ E: Batu atau berlapis		Lanskap terbuka batu/perkerasan, minim pohon; area transportasi atau permukaan kedap.
LCZ 6: Longgar bertingkat rendah		Bangunan jarak renggang 1-3 lantai, vegetasi rendah, bahan bata, genteng, beton, suhu harian besar.	LCZ F: Tanah terbuka atau pasir		Lanskap tanah/pasir tanpa vegetasi; fungsi: lahan kosong atau pertanian.
LCZ 7: Bangunan ringan		Bangunan ringan 1-2 lantai, tanpa vegetasi, dominan permukaan keras, rentang suhu harian besar.	LCZ G: Air		Perairan besar: sungai, danau, teluk, waduk, atau rawa.
LCZ 8: Bangunan besar longgar		Bangunan besar 1-3 lantai, sedikit vegetasi, hamparan permukaan keras, rentang suhu harian sedang.			
LCZ 9: Bangunan jarang		Bangunan jarang kecil/menengah, dikelilingi vegetasi alami/tanah terbuka, rentang suhu harian besar.			

Sumber: Stewart & Oke, 2012 dimodifikasi

Setelah suhu permukaan diperoleh, nilai LST kemudian diklasifikasikan menjadi lima kelas intensitas suhu (sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, sangat tinggi) menggunakan metode *quantile classification* untuk menekankan variasi spasial zona panas. Secara konseptual, UHI didefinisikan sebagai perbedaan suhu antara area urban dan rural (Voogt & Oke, 2003), dan oleh karenanya, klasifikasi berbasis kuantil ini digunakan untuk merepresentasikan gradien suhu di dalam kawasan studi (Estoque et al., 2017; Rasul et al., 2017).

Overlay dan zonal statistics digunakan untuk menghitung nilai rata-rata LST pada tiap tipe LCZ. Perubahan spasial antar tahun (2015-2024) dianalisis menggunakan profile graph untuk menelusuri dinamika LST pada area yang mengalami transisi LCZ. Selanjutnya, dilakukan analisis korelasi Pearson dengan cara meng-overlay grid LCZ (100 × 100 m) dengan raster LST pada masing-masing tahun, sehingga diperoleh pasangan data LST dan kategori LCZ per grid secara temporal. Korelasi Pearson ini digunakan untuk menguji hubungan linier antara tingkat kepadatan morfologi (LCZ 1-6 sebagai zona terbangun dan LCZ A-G sebagai zona alami) dengan nilai LST, guna menilai pengaruh intensitas terbangun terhadap peningkatan suhu permukaan. Analisis ini bertujuan menelaah sejauh mana karakteristik morfologi permukaan memengaruhi variabilitas suhu, dengan asumsi bahwa zona padat dan bermaterial keras memiliki kapasitas panas tinggi sehingga

memperkuat UHI, sedangkan zona vegetasi menurunkan suhu melalui evapotranspirasi. Gambaran utuh kerangka analisis dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kerangka Analisis Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Interpretasi Perubahan Kerapatan Bangunan di Kawasan Undip Tembalang

Perubahan kerapatan bangunan di Kawasan Undip Tembalang dari tahun 2015 hingga 2024 menunjukkan dinamika spasial yang signifikan, dengan perubahan masif di sebelah sisi selatan kawasan kampus. Koridor ruas Jalan Sirojudin-

Banjarsari-Banjarsari Selatan, Baskoro, Siwungu-Sigawe, serta di Jalan Bulusan sekitar Polsek Tembalang mendominasi transformasi lahan yang ditandai dengan adanya peningkatan konsentrasi permukiman dengan pola HMO. Sementara itu, di sisi utara, perkembangan permukiman juga mulai terlihat masif, terutama di Perumahan Permata Hijau Tembalang, permukiman Jurang Belimbing dan kawasan sekitar Koridor B Putra Ngesrep. Fenomena studentifikasi juga semakin menguat dari adanya pembangunan PBSA apartemen bertingkat, seperti proyek Paltraw City yang dibangun pada akhir tahun 2015 dan Cordova Edupartment yang dibangun sejak 2019.

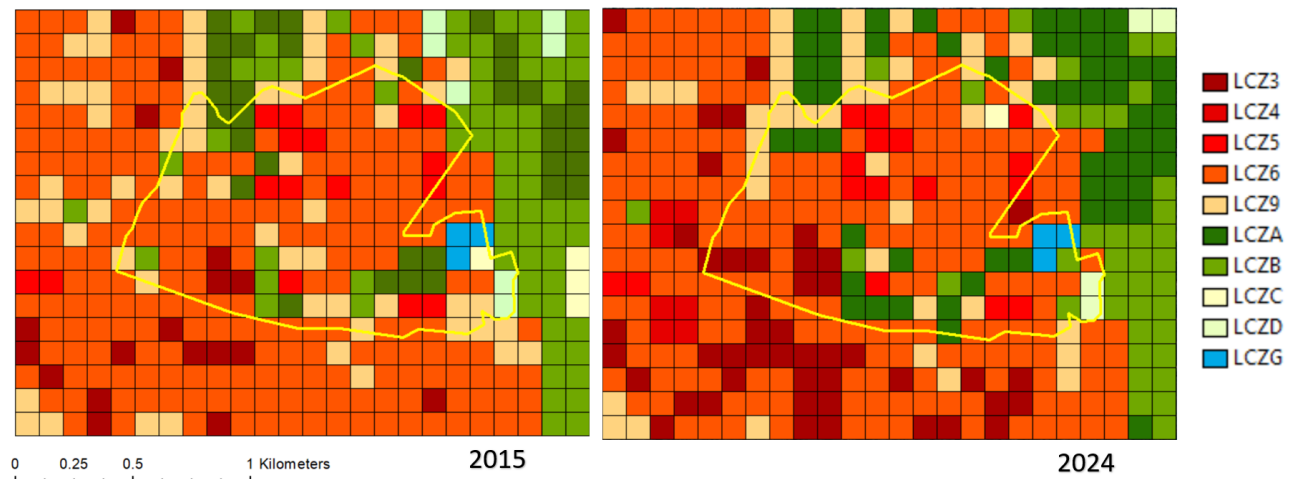
Di dalam kawasan Undip, terdapat pula beberapa pembangunan infrastruktur baru, seperti Gedung Dekanat Fakultas Teknik yang dibangun tahun 2018 atau gedung serbaguna Prof. Muladi Dome yang dibangun tahun 2023. Ekspansi permukiman baik dalam bentuk PBSA maupun HMO telah mengubah lanskap ruang, menggantikan lahan kosong atau vegetasi dengan Gedung kampus maupun hunian mahasiswa. Perubahan landscape area Undip dari tahun 2015 sampai dengan 2024 dapat dilihat pada Gambar 3.

3.2. Perubahan Tipe LCZ Kawasan Undip Tembalang

Analisis LCZ menunjukkan adanya peningkatan signifikan LCZ tipe 3 (padat bertingkat rendah) di sekitar Undip Tembalang antara 2015–2024. LCZ 3 dicirikan oleh bangunan rapat 1–3 lantai, ruang terbuka sempit, vegetasi sangat minim, dan dominasi material keras seperti beton, yang identik dengan kawasan HMO. Sebaliknya, LCZ 5–6 umumnya berupa bangunan jarak renggang 1–3 lantai, dengan ruang terbuka dan vegetasi lebih banyak, sehingga memiliki tingkat kepadatan lebih rendah. Pada 2015, LCZ 3 hanya mencakup 180.000 m² (4,17%) atau 18 grid, namun pada 2024 meningkat drastis menjadi 480.000 m² (11,11%) atau 48 grid. Peningkatan ini terkonsentrasi di kantong-kantong HMO di selatan kampus seperti Koridor Jalan Baskoro, Siwungu-Sigawe, Sirojudin-Banjarsari-Banjarsari Selatan, Jalan Gondang, dan Jalan Timoho, yang sebelumnya berupa LCZ 5–6. Di utara, pertumbuhan serupa terjadi di permukiman Jurang Belimbing dekat Danau Undip, sedangkan di timur laut kenaikan LCZ 3 tampak di Jalan Tembakau-Bukit Kerinci dan sekitar Jalan B. Putra. Temuan ini menegaskan terjadinya konversi dari zona longgar-bervegetasi (LCZ 5–6) menjadi zona padat rendah (LCZ 3) dalam kurun kurang dari satu dekade. Fenomena ini menunjukkan intensifikasi urbanisasi di Tembalang, dengan semakin banyaknya bangunan padat dan permukaan keras tinggi (lihat Gambar 4).



Gambar 3. Perubahan Lanskap Sekitar Undip Tembalang dari Citra Google Earth Tahun 2015-2024



Gambar 4. Perubahan Lanskap Sekitar Undip Tembalang dari Citra Google Earth Tahun 2015-2024

Tabel 3. Perubahan Luasan tiap Kelas LCZ di sekitar Undip, Tembalang

TIPE LCZ	2015			2024			Selisih Luas
	Σ grid	Luas	%	Σ grid	luas	%	
LCZ3	18	180.000	4,17%	47	470.000	10,88%	290.000
LCZ4		-	0,00%	7	70.000	1,62%	70.000
LCZ5	16	160.000	3,70%	16	160.000	3,70%	-
LCZ6	224	2.240.000	51,85%	213	2.130.000	49,31%	(110.000)
LCZ9	57	570.000	13,19%	42	420.000	9,72%	(150.000)
LCZA	35	350.000	8,10%	60	600.000	13,89%	250.000
LCZB	68	680.000	15,74%	39	390.000	9,03%	(290.000)
LCZC	4	40.000	0,93%	1	10.000	0,23%	(30.000)
LCZD	7	70.000	1,62%	4	40.000	0,93%	(30.000)
LCZG	3	30.000	0,69%	3	30.000	0,69%	-
Total		4.320.000	100%		4.320.000	100%	

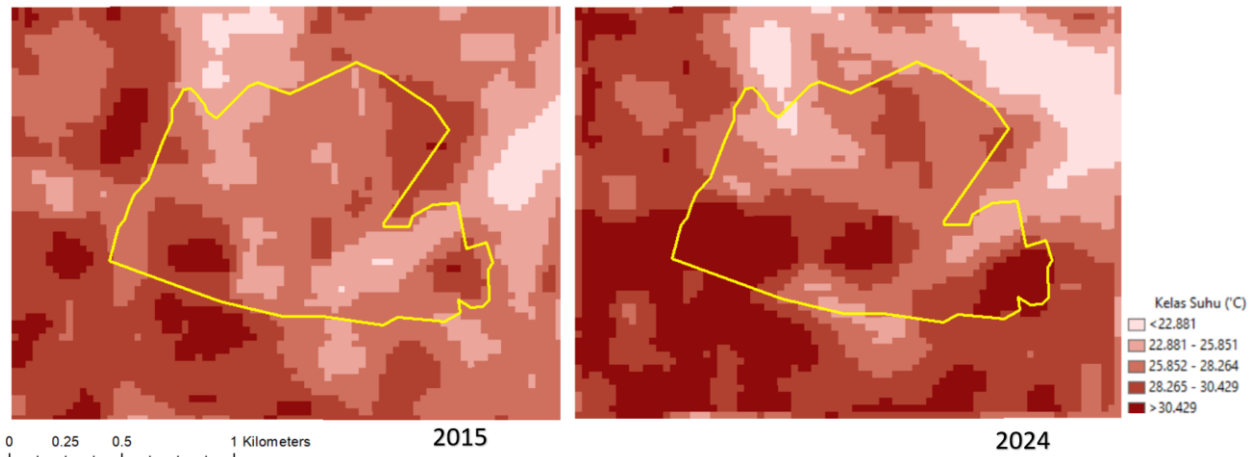
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Analisis juga menunjukkan kemunculan LCZ 4 (longgar bertingkat tinggi) pada 2024 yang sebelumnya tidak ada pada 2015, muncul pada PBSA modern seperti Cordova Edupark dan Paltraw City. Sementara itu, LCZ 6 (longgar bertingkat rendah) yang berciri bangunan jarang 1-3 lantai dengan ruang terbuka dan vegetasi banyak tetap luas namun menurun dari 2.240.000 m² (51,85%) menjadi 2.130.000 m² (49,31%) akibat sebagian grid naik kelas menjadi LCZ 3, menandakan densifikasi di area pinggiran (Polsek Tembalang, Jalan Bayu Ngesrep) meski beberapa bagian LCZ 6 justru meluas. LCZ 9 (jarang, vegetasi dominan) banyak terkonsversi menjadi LCZ 6, turun dari 570.000 m² (13,19%) menjadi 420.000 m² (9,72%). Di sisi lain, zona alami (LCZ A, B, C, G) menunjukkan dinamika berbeda, terutama LCZ A (vegetasi padat) yang meningkat pesat dari 350.000 m² (8,10%) menjadi 600.000 m² (13,89%) di sekitar Danau Undip dan hutan kampus akibat program revitalisasi ruang hijau. Adapun LCZ 5 (longgar bertingkat sedang) tetap mendominasi kawasan kampus, merepresentasikan zona akademik padat dengan vegetasi sedang yang berperan menjaga

keseimbangan mikroiklim. Adapun detil perubahan tipe LCZ dapat dilihat pada Tabel 3.

3.3. Tren Perubahan Suhu Permukaan di Kawasan Undip Tembalang

Tren suhu permukaan di Universitas Diponegoro Tembalang (2015-2024) menunjukkan peningkatan signifikan, mencerminkan perubahan iklim mikro akibat transformasi fisik kawasan. Rata-rata LST naik 0,62°C (27,38 menjadi 28,00°C), dengan kenaikan lebih tajam pada suhu maksimum harian sebesar 1,66°C (32,05→33,71°C). Lonjakan suhu maksimum ini mencerminkan penguatan UHI, dipicu oleh peningkatan bangunan dan infrastruktur minim vegetasi serta berkurangnya ruang terbuka hijau yang sebelumnya berfungsi sebagai buffer termal. Konversi lahan vegetasi menjadi permukaan keras (aspal, beton) memperbesar retensi panas siang hari, sehingga memicu lonjakan suhu maksimum yang lebih ekstrem (Labib et al., 2022). Gambaran pola spasial perubahan kelas LST di kawasan Undip dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Perubahan Kelas LST di sekitar Undip, Tembalang Tahun 2015 (kiri) dan 2024 (kanan)

Tabel 4. Perubahan Luasan tiap Kelas LST di sekitar Undip

Kelas (°C)	Luasan Kelas LST		Selisih
	2015	2024	
<22,881	139.912,30	331.656,17	191.743,88
22,881 - 25,851	778.683,09	629.390,30	(149.292,79)
25,852 - 28,264	1.850.086,87	1.023.230,79	(826.856,08)
28,265 - 30,429	1.306.992,95	1.383.338,08	76.345,13
>30,429	244.324,80	952.384,66	708.059,86
Total	4.320.000,00	4.320.000,00	-
min	21,49	17,93	
max	32,05	33,71	
mean	27,38	28,00	

Sumber: Hasil Analisis, 2025

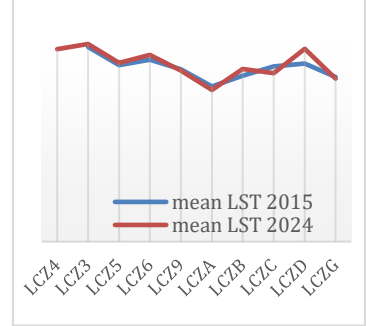
Perubahan luasan kelas LST juga menunjukkan tren yang signifikan selama periode tersebut (lihat Tabel 4). Luasan kelas suhu sangat rendah (<22,881°C) mengalami peningkatan signifikan dari 139.912,30 m² (3,24%) pada tahun 2015 menjadi 331.656,17 m² (7,68%) pada tahun 2024, kemungkinan akibat upaya pelestarian lingkungan di area Danau Undip dan kawasan hutan. Namun, luasan kelas suhu rendah (22,881–25,851°C) menurun dari 778.683,09 m² (18,03%) menjadi 629.390,30 m² (14,57%), sementara kelas suhu sedang (25,852–28,264°C) turun drastis dari 1.850.086,87 m² (42,83%) menjadi 1.023.230,79 m² (23,69%). Di sisi lain, luasan kelas suhu tinggi (28,265–30,429°C) meningkat dari 1.306.992,95 m² (30,25%) menjadi 1.383.338,08 m² (32,02%), dan luasan kelas suhu sangat tinggi (>30,429°C) melonjak tajam dari 244.324,80 m² (5,65%) menjadi 952.384,67 m² (22,05%), terutama di sepanjang koridor baru seperti gedung serbaguna Prof Muladi Dom, koridor Jalan Prof. Soedarto, permukiman padat Baskoro, Siwungu-Sigawe, koridor Sirojudin-Banjarsari-Banjarsari Selatan, Jalan Tirto Agung, Jalan Gondang, Jalan Timoho, area stadion Undip serta perumahan Ngesrep. Menariknya di Kawasan dalam Undip juga ditemukan hotspot UHI baru yaitu di sekitar Gedung ICT dan PKM yang mana hamparannya memang banyak didominasi material keras. Perubahan ini menunjukkan bahwa urbanisasi dan kepadatan bangunan telah memicu pergeseran distribusi suhu ke arah yang lebih tinggi, dengan dampak UHI yang semakin dominan di wilayah-wilayah tersebut.

3.4. Hubungan Perubahan LCZ dengan LST di Kawasan Undip Tembalang

Analisis hubungan antara tipe LCZ dan rata-rata suhu permukaan di kawasan Undip menunjukkan bahwa karakteristik fisik permukaan sangat memengaruhi distribusi suhu lokal (Tabel 5). LCZ dengan bangunan padat (LCZ3, LCZ4, LCZ6) memiliki suhu yang lebih tinggi, sementara LCZ dengan vegetasi dominan (LCZA, LCZG) memiliki suhu yang lebih rendah. Perubahan land use, seperti pembangunan baru di koridor Prof Soedarto dan Banjarsari, telah memicu kenaikan suhu yang signifikan, sesuai dengan teori Stewart-Oke (2012).

Tabel 5. Perubahan *mean* LST Tiap Kelas LCZ di Sekitar Undip, Tembalang tahun 2015-2024

LCZ	mean LST	
	2015	2024
LCZ3	30,25	30,72
LCZ4		29,91
LCZ5	27,43	27,76
LCZ6	28,30	29,04
LCZ9	26,79	26,58
LCZA	24,12	23,57
LCZB	25,79	26,81
LCZC	27,25	26,19
LCZD	27,69	29,97
LCZG	25,61	25,35
mean	26,62	27,24



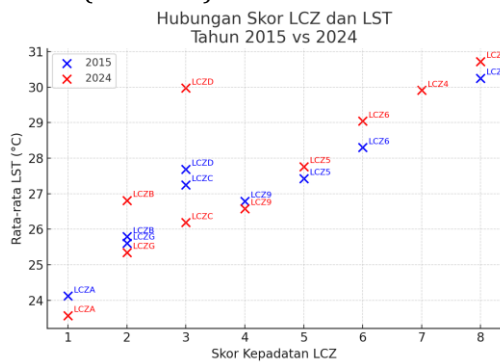
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Hasil overlay tipe LCZ dengan kelas LST (Gambar 6) memperlihatkan hubungan spasial yang konsisten antara kepadatan morfologi permukaan dan tingkat suhu. Area dengan dominasi LCZ3, LCZ4, dan LCZ6 yang dicirikan bangunan padat dan minim vegetasi tampak didominasi warna merah-oranye yang menandakan zona panas (hotspot) dengan LST tinggi. Zona-zona ini terutama terkonsentrasi di koridor padat seperti Prof. Soedarto, Banjarsari, Baskoro, dan Siwungu-Sigawe, yang mengalami pertumbuhan HMO dan PBSA secara masif dalam periode 2015–2024. Sebaliknya, area LCZA, LCZB, dan LCZG yang didominasi vegetasi rapat atau elemen alami ditunjukkan dalam warna hijau, yang

merepresentasikan zona sejuk dengan LST rendah, umumnya berada di hutan kampus dan sekitar danau.

Pola spasial ini sejalan dengan data pada Tabel 5 yang menunjukkan bahwa LCZ3 mengalami peningkatan mean LST tertinggi (dari 30,25°C menjadi 30,72°C), diikuti LCZ4 dan LCZ6, sedangkan LCZA tetap paling rendah (23,57°C). Peningkatan suhu lebih dominan pada zona terbangun padat menunjukkan bahwa urbanisasi dan studentifikasi telah memperkuat efek UHI di kawasan Undip Tembalang, memperbesar kontras termal antara kawasan terbangun dan ruang hijau kampus.

Analisis korelasi antara kepadatan morfologi permukaan dan suhu menunjukkan bahwa karakter fisik tiap (LCZ berpengaruh kuat terhadap distribusi suhu permukaan di kawasan Undip Tembalang. Setiap kelas LCZ diberi skor ordinal (1–8) berdasarkan tingkat kepadatan bangunan dan dominasi permukaan kedap mengacu pada kerangka Stewart & Oke (2012), di mana LCZ3 (skor 8) merepresentasikan zona padat bertingkat rendah dengan bangunan rapat dan vegetasi minim, sedangkan LCZA (skor 1) merepresentasikan zona vegetatif dengan tutupan pohon rapat dan permukaan permeable (Gambar 7).



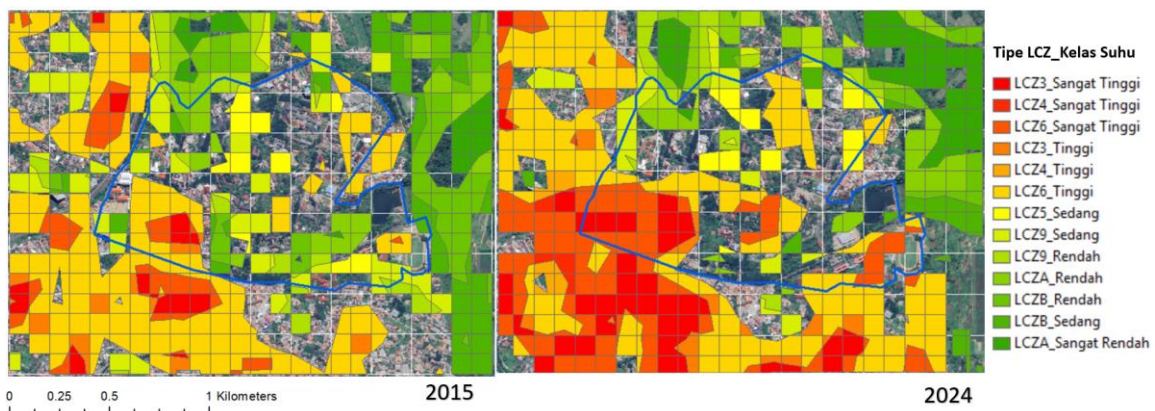
Gambar 7. Scatter Plot Korelasi LCZ dengan LST

Scatter plot hasil uji Spearman's rank correlation coefficient menunjukkan kecenderungan bahwa semakin tinggi skor LCZ, semakin tinggi pula rata-rata LST, dengan nilai korelasi $\rho = 0,90$ pada 2015 dan $\rho = 0,78$ pada 2024. Pola ini menegaskan bahwa zona padat seperti LCZ3–LCZ4 cenderung menjadi hotspot

dengan LST tinggi, sementara zona vegetatif seperti LCZA–LCZG konsisten menjadi kantong sejuk. Namun demikian, penguatan Urban Heat Island (UHI) tidak selalu diikuti peningkatan nilai korelasi karena Spearman hanya mengukur keteraturan ranking, bukan besarnya selisih suhu. Tahun 2024 menunjukkan heterogenitas termal lebih tinggi, seperti LCZD (skor 3) yang memiliki LST mendekati LCZ6 (skor 6), sehingga menurunkan kekompakan pola korelasi meskipun suhu absolut di zona padat meningkat. Temuan ini menandakan bahwa proses densifikasi memperkuat UHI, tetapi sekaligus membuat pola distribusi suhu antarzona menjadi lebih tidak beraturan.

a. LCZ dengan Suhu Tinggi

LCZ dengan suhu tinggi umumnya didominasi oleh bangunan padat dan material keras seperti aspal dan beton, yang memiliki kapasitas menyerap dan menyimpan panas matahari secara signifikan. LCZ3, mencatat mean LST sebesar 30,25°C pada tahun 2015 dan meningkat menjadi 30,72°C pada tahun 2024. Wilayah ini banyak ditemukan di area Banjarsari, Tirta Agung, dan koridor Prof. Soedarto, yang merupakan hotspot UHI akibat urbanisasi dan kehadiran infrastruktur baru seperti gedung serbaguna Prof. Soedarto. Selain itu, LCZ6, yang terdiri dari bangunan sedang dengan beberapa vegetasi, juga menunjukkan kenaikan suhu dari 28,30°C menjadi 29,04°C, mengindikasikan bahwa bahkan wilayah dengan campuran bangunan dan vegetasi yang banyak ditemui dipermukiman HMO agak jauh dari jalan utama tetap rentan terhadap peningkatan suhu jika proporsi vegetasi tidak cukup besar. Kenaikan suhu di kedua tipe LCZ ini sesuai dengan teori Stewart-Oke (2012), yang menyatakan bahwa permukaan dengan dominasi bahan konstruksi seperti beton dan aspal memiliki sifat termal yang memperkuat efek UHI. Jika tidak dimitigasi dengan baik, wilayah hotspot UHI ini akan meningkatkan risiko *heat stress* yang berdampak pada kenyamanan termal serta kesehatan penghuninya, seperti sakit kepala, keringat berlebihan, hingga *heatstroke* (Wibowo et al., 2023).



Gambar 6. Overlay Peta LCZ dengan Kelas LST di Kawasan Undip

b. LCZ dengan Suhu Sedang

LCZ dengan suhu sedang biasanya terdapat di wilayah dengan campuran antara bangunan dan vegetasi, yang menciptakan keseimbangan antara penyerapan panas oleh material keras dan pendinginan alami oleh vegetasi. LCZ5 yang banyak ditemui di Kawasan kampus, yang merepresentasikan wilayah dengan bangunan sedang dan vegetasi cukup banyak, mencatat mean LST sebesar 27,43°C pada tahun 2015 dan naik menjadi 27,76°C pada tahun 2024. Kenaikan suhu yang relatif kecil ini menunjukkan bahwa vegetasi berperan penting dalam menstabilkan suhu permukaan (Wibowo et al., 2017). Meskipun demikian, pengurangan luasan vegetasi di masa mendatang dapat menyebabkan kenaikan suhu lebih lanjut, sehingga menjaga keseimbangan antara pembangunan dan pelestarian lingkungan sangat penting.

c. LCZ dengan Suhu Rendah

LCZ dengan suhu rendah umumnya didominasi oleh vegetasi lebat atau tubuh air, yang memiliki efek pendinginan alami melalui proses evaporasi dan shading. LCZA, yang merepresentasikan wilayah dengan vegetasi dominan dan sedikit bangunan, memiliki mean LST sebesar 24,12°C pada tahun 2015 dan turun menjadi 23,57°C pada tahun 2024. Sementara itu, LCZG, yang juga merepresentasikan air, mencatat penurunan suhu dari 25,61°C menjadi 25,35°C. Wilayah-wilayah seperti Danau Undip dan kawasan hutan termasuk dalam kategori ini, yang menunjukkan bahwa vegetasi lebat dan badan air mampu menurunkan suhu permukaan secara signifikan. Hal ini sesuai dengan teori Stewart-Oke (2012), yang menyatakan bahwa LCZ dengan vegetasi tinggi memiliki kapasitas pendinginan yang lebih baik dibandingkan dengan LCZ dengan dominasi material keras.

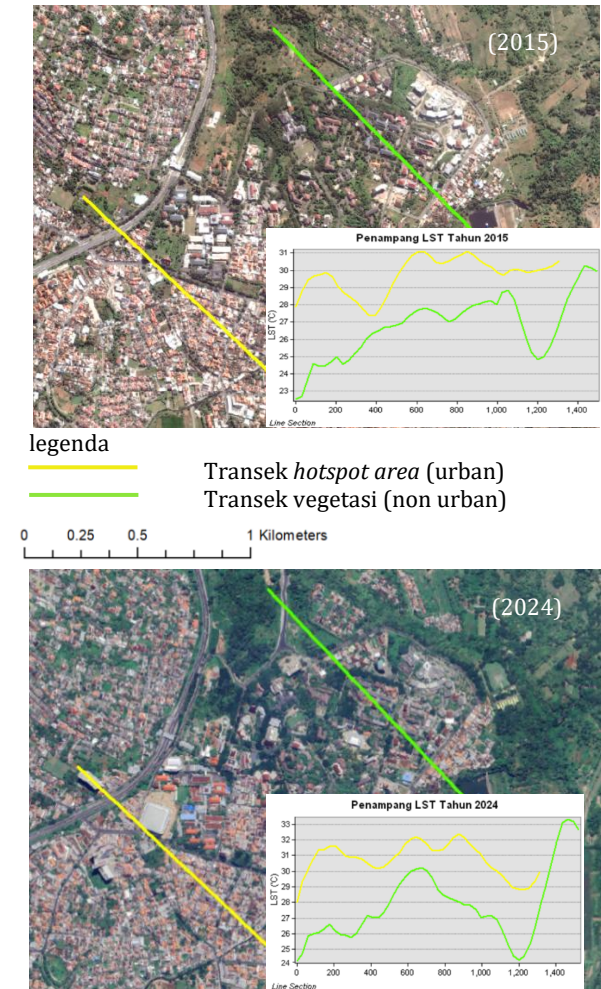
d. LCZ dengan Perubahan Suhu Ekstrem

LCZD adalah tipe LCZ yang menunjukkan peningkatan LST signifikan. LCZD merepresentasikan hamparan rumput kering dan lahan terbuka seperti lapangan Stadion Undip, berdasarkan hasil overlay didapati informasi kenaikan suhu drastis dari 27,69°C menjadi 29,97°C, dengan kenaikan sebesar 2,28°C. Kenaikan ini disebabkan oleh pengurangan vegetasi di sekitar stadion, yang mengubah sifat termal permukaan.

3.5. Analisis Perubahan Penampang LST Tahun 2015 dan 2024

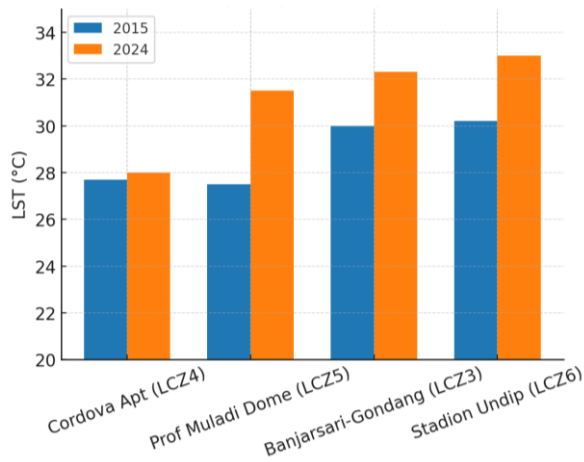
Analisis perubahan penampang digunakan untuk memvisualisasikan dan membandingkan perubahan suhu permukaan (LST) secara spesifik di area

berkarakter urban dan non urban (banyak vegetasi) antara tahun 2015 dan 2024, seperti yang ditunjukkan Gambar 8.



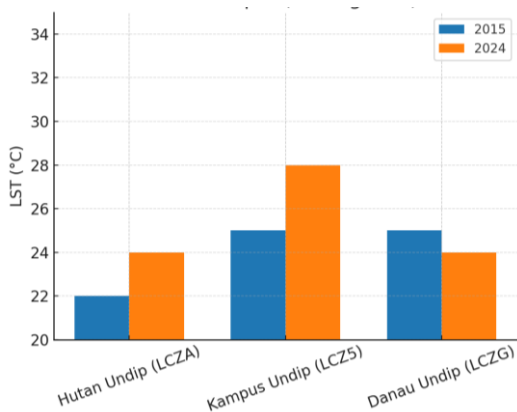
Gambar 8. Perbandingan Penampang LST di Sekitar Undip, Tembalang di Wilayah Berkarakteristik Urban (Padat) dengan Wilayah Dominasi Vegetasi Tahun 2015-2024

Berdasarkan Gambar 8, area *urban* (dilalui garis kuning) mengalami peningkatan suhu yang signifikan antara tahun 2015 dan 2024. Apartemen Cordova yang dibangun pada tahun 2024 di titik 0 meter menunjukkan suhu 28°C, sedikit lebih tinggi dari tahun 2015 (27,7°C) ketika area masih terbuka dengan vegetasi. Gedung Serbaguna Prof. Muladi Dome di 200 meter mengalami kenaikan suhu yang lebih dramatis, dari 27,5°C pada tahun 2015 ketika masih menjadi area vegetasi rapat, menjadi 31,5°C pada tahun 2024 setelah menjadi gedung baru. Permukiman padat Banjarsari-Gondang di 600-900 meter juga mengalami peningkatan suhu dari 30-31°C pada tahun 2015 menjadi 31-32,3°C pada tahun 2024, menunjukkan penguatan efek UHI akibat kepadatan bangunan (Gambar 9).



Gambar 9. Ilustrasi Perbandingan Transek Hostspot Area (Urban)

Sementara itu, area vegetasi mengalami perubahan suhu yang lebih moderat, namun tetap menunjukkan tren pemanasan (Gambar 10). Hutan UNDIP di titik 0 meter mengalami kenaikan suhu dari 22°C pada tahun 2015 menjadi 24°C pada tahun 2024. Kawasan Kampus UNDIP di 100-1100 meter juga mengalami peningkatan suhu signifikan, dari 24,5-26°C pada tahun 2015 menjadi 26-30°C pada tahun 2024, akibat penambahan beberapa infrastruktur akademik. Danau di 1200 meter justru mengalami penurunan suhu dari 25°C pada tahun 2015 menjadi 24°C pada tahun 2024, vegetasi di sekitar danau telah meningkatkan efek pendinginan alami. Stadion UNDIP di 1400 meter mengalami kenaikan suhu ekstrem dari 30,2°C pada tahun 2015 menjadi 33°C pada tahun 2024 karena bukaan lahan dalam area luas menyebabkan akumulasi panas.



Gambar 10. Ilustrasi Perbandingan Transek Vegetasi (Non Urban)

Perbandingan tahun 2015 dan 2024 menunjukkan bahwa pemanasan lebih cepat terjadi di area urban dibandingkan area vegetasi, dengan kenaikan suhu mencapai 4°C di beberapa titik seperti Gedung Serbaguna Prof. Muladi Dome. Area vegetasi juga mengalami pemanasan meskipun lebih moderat, kecuali di danau yang justru mengalami penurunan suhu. Pola ini menggarisbawahi dampak signifikan dari urbanisasi terhadap iklim mikro suatu daerah.

Penting bagi perencana kota untuk mempertimbangkan keseimbangan antara pengembangan infrastruktur dan pelestarian ruang hijau, serta mengadopsi strategi mitigasi seperti penambahan vegetasi di area urban, penggunaan material bangunan yang ramah lingkungan, dan perencanaan kota berkelanjutan untuk mengurangi efek pemanasan di masa depan.

Studi ini memberikan kontribusi penting bagi pengelolaan ruang kampus tropis seperti Undip Tembalang, dengan menegaskan urgensi perencanaan spasial yang berorientasi pada mitigasi UHI. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan kepadatan bangunan tanpa penguatan elemen hijau telah mempercepat akumulasi panas, sehingga diperlukan strategi pengendalian berbasis tipologi LCZ. Secara praktis, pengendalian ini dapat dilakukan dengan menetapkan koridor hijau peneduh di sepanjang akses koridor utama menuju kampus (ruas Prof. Soedarto, Banjarsari-Mulawarman, Sirojudin-Baskoro) yang kini didominasi zona LCZ 3, memperbanyak pohon kanopi besar di area permukiman mahasiswa padat (Siwungu-Sigawe, Jurang Belimbing), serta memulihkan sempadan vegetasi di sekitar Danau Undip dan hutan kampus (LCZ A) sebagai penyangga termal alami. Penerapan material beralbedo tinggi, atap hijau, dinding hijau, dan permukaan permeabel juga disarankan untuk bangunan baru di lingkungan akademik (LCZ 5) agar tidak meningkatkan efek pantulan panas pada permukaan keras. Temuan ini dapat menjadi dasar bagi penyusunan kebijakan tata ruang kampus, standar desain bangunan, serta pedoman pengelolaan ruang terbuka hijau di kawasan pendidikan tropis yang sedang tumbuh pesat.

Secara akademik, penelitian ini berkontribusi dengan menghadirkan pendekatan spasio-temporal berbasis LCZ dan LST untuk mengevaluasi penguatan UHI pada skala mikro kampus, pendekatan yang sebelumnya jarang diterapkan dalam konteks studentifikasi di wilayah tropis. Temuan ini memperluas bukti empiris keterkaitan morfologi permukaan dan iklim mikro, serta dapat direplikasi untuk mengkaji dinamika termal di kawasan pendidikan lain. Untuk penelitian lanjutan, studi ini membuka peluang eksplorasi variasi musiman, analisis temporal harian, pemodelan prediksi LST berbasis proyeksi pertumbuhan LCZ, serta evaluasi kuantitatif efektivitas intervensi hijau terhadap penurunan suhu lokal. Integrasi data lapangan mikroklimat (suhu udara, kelembapan, kecepatan angin) dengan analisis citra satelit juga disarankan untuk meningkatkan resolusi dan akurasi kajian UHI di skala kampus.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa transformasi spasial pesat di kawasan Undip Tembalang akibat Studentifikasi telah mengubah struktur LCZ secara signifikan dan memperkuat efek UHI. Pergeseran dominasi dari zona vegetatif (LCZA-LCZ9) menuju

zona padat (LCZ3–LCZ4–LCZ6) disertai peningkatan luas LCZ3 dari 180.000 m² menjadi 470.000 m² dalam satu dekade, diikuti kenaikan LST rata-rata dari 27,38 °C menjadi 28,00 °C dan suhu maksimum dari 32,05 °C menjadi 33,71 °C. Overlay LCZ–LST dan korelasi Spearman ($\rho = 0,90$ pada 2015; $\rho = 0,78$ pada 2024) menunjukkan hubungan positif kuat antara kepadatan morfologi dan suhu, sekaligus mengungkap meningkatnya heterogenitas termal akibat fragmentasi ruang hijau. Temuan ini menegaskan bahwa urbanisasi kampus telah menciptakan kontras termal tajam antara zona padat dan zona hijau, dan bahwa pendekatan LCZ–LST efektif untuk menilai dampak perubahan morfologi terhadap iklim mikro di lingkungan kampus tropis.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbari, H., & Kolokotsa, D. (2016). Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research. *Energy and Buildings*, 133, 834–842. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.067>
- Astuti, S. T., & Nucifera, F. (2021). Identifikasi Local Climate Zone Sebagai Upaya Mitigasi Urban Heat Island di Kota Semarang. *Geomedia*, 19(1), 54–65. <https://journal.uny.ac.id/index.php/geomedia/index>
- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. *Journal of Sensors*, 2016(1), 1480307. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2016/1480307>
- Chen, Y. C., Chiu, H. W., Su, Y. F., Wu, Y. C., & Cheng, K. S. (2017). Does urbanization increase diurnal land surface temperature variation? Evidence and implications. *Landscape and Urban Planning*, 157, 247–258. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.06.014>
- Doan, Q.-V., Kusaka, H., & Ho, Q.-B. (2016). Impact of future urbanization on temperature and thermal comfort index in a developing tropical city: Ho Chi Minh City. *Urban Climate*, 17, 20–31. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.04.003>
- Estoque, R. C., Murayama, Y., & Myint, S. W. (2017). Science of The Total Environment, 577, 349–359.
- Fong, Chng Saun, Manavvi, Suneja, Priya, Radhakrishnan Shanthi, Ramakreshnan, Logaraj, & Sulaiman, Nik Meriam. (2023). Traits of adaptive outdoor thermal comfort in a tropical urban microclimate. *Atmosphere*, 14(5), 852. <https://doi.org/10.3390/atmos14050852>
- Grover, A., & Singh, R. B. (2016). Monitoring spatial patterns of land surface temperature and urban heat island for sustainable megacity: A case study of Mumbai, India, using landsat TM data. *Environment and Urbanization ASIA*, 7(1), 38–54. <https://doi.org/10.1177/0975425315619722>
- Hapsari, M. D., & Pradoto, W. (2013). Perkembangan Permukiman di Sekitar Lingkungan Kampus Undip Tembalang. *Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Kota*, 9, 404–415.
- Heshmat Mohajer, Hamed Reza, Ding, Lan, Kolokotsa, Dionysia, & Santamouris, Mattheos. (2023). On the thermal environmental quality of typical urban settlement configurations. *Buildings*, 13(1), 76. <https://doi.org/10.3390/buildings13010076>
- Hong, Chao, Qu, Zhongke, Xiao, Ruizhi, Wang, Zhen, Yang, Yujun, & others. (2024). Vertical thermal environment investigation in different urban zones (LCZ4/LCZ6/LCZA) and heat mitigation evaluation: Field measurements and numerical simulations. *Building and Environment*, 262, 111840. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111840>
- Hoseini, P., & Nematinehr, M. (2023). Dormitory neighbourhood: The role of studentification in developing low-quality neighbourhood, case of Babolsar, Iran. *International Planning Studies*, 28(2), 142–161. <https://doi.org/10.1080/13563475.2022.2139667>
- Kotharkar, R., Bagade, A., & Ramesh, A. (2019). Assessing urban drivers of canopy layer urban heat island: A numerical modeling approach. *Landscape and Urban Planning*, 190, 103586. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.05.017>
- Labib, M. S., Wibowo, A., & Shidiq, I. P. A. (2022). LST-based threshold method for detecting UHI in a complex urban landscape. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 986(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/986/1/012072>
- Liang, Z., Wang, Y., Huang, J., Wei, F., Wu, S., & others. (2020). Seasonal and diurnal variations in the relationships between urban form and the urban heat island effect. *Energies*, 13(22), 5909. <https://doi.org/10.3390/en13225909>
- Marhendriyanto. (2003). Pengaruh Kampus Perguruan Tinggi terhadap Perkembangan Kawasan Sekitarnya di Kota Semarang. Program Pascasarjana Pembangunan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.
- Prastiwi, S. K. A., & Dewi, S. P. (2021). Analisis Ketersediaan Hunian Mahasiswa Pada Proses Studentifikasi di Kawasan Pendidikan Tinggi Tembalang, Semarang. *RIPTEK*, 15, 28–42.
- Ranagalage, M., Dissanayake, D., Murayama, Y., Zhang, X., & Estoque, R. C. (2018). Quantifying surface urban heat island formation in the world heritage tropical mountain city of Sri Lanka. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(9), 341. <https://doi.org/10.3390/ijgi7090341>
- Rasul, A., Balzter, H., & Smith, C. (2017). *Remote Sensing*, 9(10), 1002.
- Salvo, F., Tavano, D., & Del Giudice, F. P. (2025). Assessing the impact of studentification on real estate dynamics: Evidence from the University of Calabria. In *Green Energy and Technology (Part F573)*, pp. 191–210. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/978-3-031-91895-7_12
- Samadikun, B. P. (2014). Dampak Keberadaan Kampus Undip Tembalang terhadap Kondisi Lingkungan Perumahan di Sekitarnya. Program Pascasarjana Universitas Diponegoro.
- Shanto, A. A., Zobair, A. B., Fahim, B. K., & Rabbee, T. (2025). Urban heat island evaluation: A comprehensive analysis of state-of-the-art approaches in Dhaka City. *AIP Conference Proceedings*, 3262(1), 020021. <https://doi.org/10.1063/5.0247066>

- Silva, M. T., Margalho, E. da S., Serrão, E. A. de O., de Souza, A. C., Soares, C. de S., & others. (2021). Application of spatial modeling of biophysical variables in an urbanized area in the Amazon: The case of the metropolitan area of Belém-Pará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 36, e20200063. <https://doi.org/10.1590/0102-77863620063>
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Sulistiawan, U. H., & Dewi, S. P. (2014). Pengaruh Kawasan Pendidikan Tinggi Undip Terhadap Perkembangan Perdagangan dan Jasa di Koridor Jalan Banjarsari Selatan Kecamatan Tembalang. *RUANG*, 2.
- Tyagi, Gunjan & Danish Md.. (2025). Reflective building façades: The effect of albedo on outdoor thermal comfort – A case study of low-rise apartments. *Nature Environment and Pollution Technology*, 24(2), B4247. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2025.v24i02.B4247>
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Progress in Physical Geography*, 27(2), 217–229.
- Wibowo, A., Semedi, J. M., & Salleh, K. O. (2017). Spatial temporal analysis of urban heat hazard on education Area (University of Indonesia). *Indonesian Journal of Geography*, 49(1), 1–10. <https://doi.org/10.22146/ijg.11821>
- Wibowo, A., Abisha, N. R., Hernina, R., Kusratmoko, E., & Saraswati, R. (2023). Urban Heat Hazard Model Based On Local Climate Zone. *International Journal of GEOMATE*, 24(103), 96–103. <https://doi.org/10.21660/2023.103.g12284>
- Zhou, S., Zheng, H., Liu, X., Gao, Q., & Xie, J. (2023). Identifying the effects of vegetation on urban surface temperatures based on urban–rural local climate zones in a subtropical metropolis. *Remote Sensing*, 15(19), 4743. <https://doi.org/10.3390/rs15194743>