



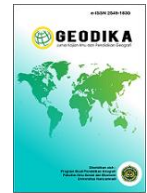
Website: <http://e-journal.hamzanwadi.ac.id/index.php/gdk>



GEODIKA
Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi

Terakreditasi S5 – SK No. 177/E/KPT/2024

Penerbit: Universitas Hamzanwadi



Analisis Zona Iklim Lokal dan Distribusi Suhu Permukaan Lahan di Kota Banda Aceh

Irfan Aulia^{1*}, Adi Wibowo¹

¹Departemen Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia.

*Email Koresponden: irfan.aulia51@ui.ac.id

Diterima: 09-06-2026, Revisi: 26-08-2026, Disetujui: 01-09-2026

©2026 Universitas Hamzanwadi

Abstrak. Pertumbuhan kawasan terbangun yang pesat di Kota Banda Aceh berdampak pada peningkatan Suhu Permukaan Lahan (Land Surface Temperature/LST) dan intensifikasi fenomena Urban Heat Island (UHI). Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan antara Zona Iklim Lokal (Local Climate Zones/LCZ) dan distribusi suhu permukaan lahan di seluruh wilayah administrasi Kota Banda Aceh. Metode yang digunakan meliputi klasifikasi LCZ berbasis aturan (rule-based) menggunakan citra Sentinel-2 dan prediksi LST resolusi tinggi (10 meter) melalui model regresi Random Forest berdasarkan data Landsat 8, Landsat 9, dan Sentinel-2 yang diproses pada platform Google Earth Engine. Model Random Forest yang dilatih menggunakan 2.345 sampel menghasilkan nilai Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 2,56°C, menunjukkan akurasi prediksi yang memadai. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa 93,8% wilayah Kota Banda Aceh berada pada kelas suhu permukaan di atas 34°C, dengan zona LCZ terbangun seperti Compact Mid-Rise (rata-rata 41,14°C) dan Compact Low-Rise (rata-rata 40,94°C) mencatat suhu tertinggi. Sebaliknya, zona perairan (LCZ 17) secara konsisten menunjukkan suhu terendah dengan rata-rata 33,25°C. Temuan ini menegaskan pentingnya perencanaan kota yang responsif terhadap iklim, terutama melalui peningkatan tutupan vegetasi dan pelestarian badan air sebagai strategi mitigasi pemanasan perkotaan di Kota Banda Aceh.

Kata kunci: Zona Iklim Lokal (LCZ), Suhu Permukaan Lahan (LST), Urban Heat Island, Random Forest, Google Earth Engine

Abstract. The rapid expansion of built-up areas in Banda Aceh City has led to increased Land Surface Temperature (LST) and intensified Urban Heat Island (UHI) effects. This study aims to analyze the relationship between Local Climate Zones (LCZ) and LST distribution across the entire administrative territory of Banda Aceh City. The methods employed include rule-based LCZ classification using Sentinel-2 imagery and high-resolution (10-meter) LST prediction via a Random Forest regression model based on Landsat 8, Landsat 9, and Sentinel-2 data, processed within Google Earth Engine. The Random Forest model trained on 2,345 samples achieved a Root Mean Square Error (RMSE) of 2.56°C, indicating adequate predictive accuracy. Results reveal that 93.8% of Banda Aceh City exhibits LST above 34°C, with built-up LCZ categories such as Compact Mid-Rise (mean 41.14°C) and Compact Low-Rise (mean 40.94°C) recording the highest temperatures. Conversely, the water zone (LCZ 17) consistently shows the lowest mean temperature of 33.25°C. These findings underscore the importance of climate-responsive urban planning, particularly through increased vegetation cover and water body preservation as mitigation strategies against urban warming in Banda Aceh City.

Keywords: Local Climate Zones (LCZ), Land Surface Temperature (LST), Urban Heat Island, Random Forest, Google Earth Engine

PENDAHULUAN

Urbanisasi yang berlangsung secara masif di berbagai kota di Indonesia telah mengakibatkan perubahan signifikan pada penutup dan penggunaan lahan (*Land Use Land Cover/LULC*), yang pada gilirannya mempengaruhi distribusi Suhu Permukaan Lahan (*Land Surface Temperature/LST*) secara spasial (Moazzam et al., 2022). Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) merupakan salah satu konsekuensi yang paling nyata dari proses urbanisasi tersebut, di mana kawasan terbangun cenderung menyerap dan memancarkan kembali radiasi matahari dalam jumlah lebih besar dibandingkan kawasan vegetasi atau perairan, sehingga

menghasilkan suhu permukaan yang lebih tinggi (Cetin et al., 2024). Hubungan negatif antara kerapatan vegetasi dan LST telah dikonfirmasi melalui berbagai penelitian penginderaan jauh di kota-kota tropis Indonesia, di mana peningkatan nilai indeks vegetasi secara konsisten berkorelasi dengan penurunan suhu permukaan lahan (Sidiq et al., 2026). Pemahaman yang komprehensif mengenai distribusi termal perkotaan menjadi semakin mendesak dalam konteks perubahan iklim global dan kebutuhan akan strategi mitigasi yang efektif (Darlina et al., 2018).

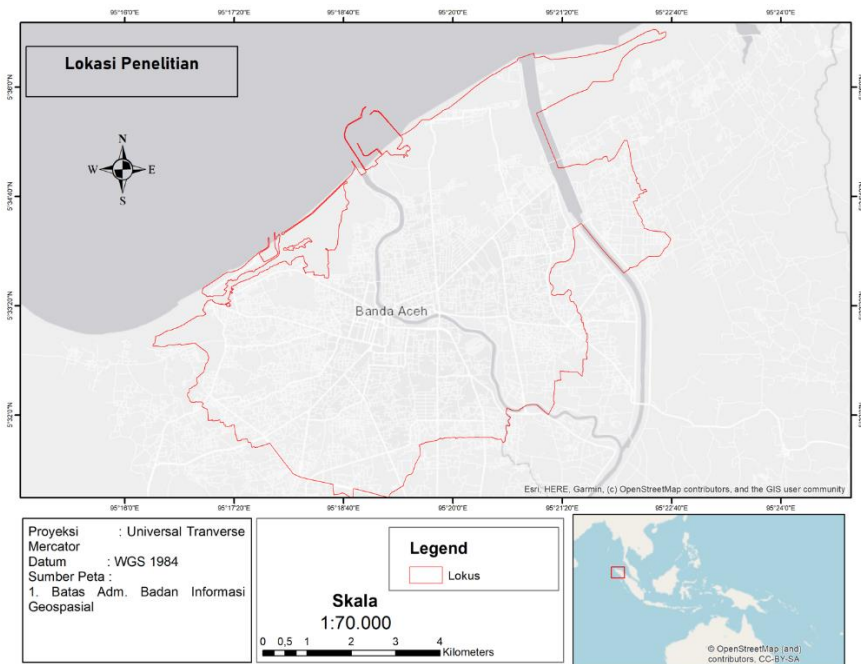
Konsep Zona Iklim Lokal (*Local Climate Zones/LCZ*) yang dikembangkan oleh Stewart dan Oke (2012) menyediakan kerangka klasifikasi yang terstandarisasi secara global untuk mengkarakterisasi lanskap perkotaan dan non-perkotaan berdasarkan parameter fisik seperti kepadatan bangunan, tinggi bangunan, tutupan vegetasi, dan komposisi material permukaan. Sistem klasifikasi ini membagi lanskap ke dalam 17 kategori yang memungkinkan perbandingan lintas kota secara konsisten dan mendukung analisis iklim perkotaan berbasis penginderaan jauh (Bechtel et al., 2015). Penelitian-penelitian sebelumnya telah mendemonstrasikan bahwa zona dengan kepadatan bangunan tinggi seperti LCZ 1 (*Compact High-rise*) dan LCZ 2 (*Compact Mid-rise*) secara konsisten menunjukkan suhu permukaan yang lebih tinggi dibandingkan zona vegetasi seperti LCZ A (*Dense Trees*) dan LCZ B (*Scattered Trees*) (Zhao et al., 2021). Di Indonesia, pola serupa telah diverifikasi secara spasiotemporal di kawasan UNDIP Tembalang, di mana peningkatan kepadatan zona LCZ terbangun berkorelasi positif kuat dengan kenaikan LST ($\rho = 0,90$), sementara zona vegetatif secara konsisten mencatat suhu terendah di kisaran 23,17°C (Rizqi & Wibowo, 2025).

Kota Banda Aceh, sebagai ibu kota Provinsi Aceh dan kota yang mengalami rekonstruksi masif pasca bencana gempa bumi dan tsunami tahun 2004, memiliki karakteristik spasial yang unik. Proses rekonstruksi yang intensif selama dua dekade terakhir telah mentransformasi pola penggunaan lahan secara signifikan, menciptakan mosaik antara kawasan terbangun baru, lahan terbuka, dan kawasan vegetasi yang tersisa (Maru et al., 2015). Kondisi ini menjadikan Kota Banda Aceh sebagai wilayah kajian yang relevan untuk menganalisis hubungan antara LCZ dan LST, terutama dalam konteks perencanaan kota yang adaptif terhadap perubahan iklim pasca rekonstruksi di Aceh (Sufri et al., 2024). Persoalan UHI yang serupa juga telah terdokumentasi di berbagai kota besar Indonesia dan Asia Tenggara, di mana minimnya Ruang Terbuka Hijau (RTH) diidentifikasi sebagai faktor pembesar intensitas pemanasan perkotaan (Hotimah et al., 2025).

Penelitian ini memanfaatkan pendekatan penginderaan jauh berbasis platform *Google Earth Engine* (GEE) dengan mengintegrasikan data citra Sentinel-2 untuk klasifikasi LCZ dan data Landsat 8/9 untuk derivasi LST. Pendekatan berbasis penginderaan jauh untuk menganalisis hubungan LCZ dan LST telah menunjukkan hasil yang menjanjikan di berbagai konteks perkotaan Indonesia, termasuk pada skala mikro kawasan kampus (Rizqi & Wibowo, 2025), namun belum pernah diterapkan di kota pesisir pasca-rekonstruksi seperti Banda Aceh dengan pendekatan prediksi LST resolusi tinggi berbasis *Random Forest*. Kebaruan metodologis penelitian ini terletak pada penggunaan model regresi *Random Forest* untuk menghasilkan prediksi LST resolusi tinggi sebesar 10 m dengan memanfaatkan informasi spektral Sentinel-2, sehingga menghasilkan peta termal dengan detail spasial yang lebih tinggi dibandingkan resolusi termal Landsat asli sebesar 30 meter. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pola distribusi spasial LCZ dan LST di Kota Banda Aceh serta mengidentifikasi hubungan kuantitatif antara kedua variabel tersebut sebagai dasar rekomendasi kebijakan perencanaan ruang yang responsif terhadap iklim.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Kota Banda Aceh, Provinsi Aceh, Indonesia, yang secara geografis terletak pada koordinat 5°16'15" hingga 5°36'16" Lintang Utara dan 95°16'15" hingga 95°22'35" Bujur Timur. Kota Banda Aceh merupakan kota pesisir yang berbatasan langsung dengan Selat Malaka di bagian utara dan barat, dengan luas wilayah administrasi sebesar 56,77 km² berdasarkan data Badan Informasi Geospasial (BIG, 2024). Batas wilayah kajian pada gambar 1, dimana data *shapefile* batas administrasi Kota Banda Aceh diperoleh dari Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia.



Gambar 1. Peta Wilayah Penelitian
(Sumber: Rancangan Peneliti, 2026)

Akuisisi Data dan Prediksi LST

Periode akuisisi data ditetapkan pada rentang April hingga Juni 2024 untuk memperoleh kondisi tutupan awan yang minimal di wilayah Aceh. Data citra Landsat 8 dan Landsat 9 diproses untuk menghasilkan nilai LST melalui konversi band termal ST_B10 sesuai dengan faktor skala resmi USGS (*United States Geological Survey*). Konversi nilai *Digital Number* (DN) menjadi suhu permukaan lahan dalam satuan *Celsius* dilakukan menggunakan persamaan berikut (USGS, 2024):

$$LST (^{\circ}C) = DN \times 0,00341802 + 149,0 - 273,15$$

Proses *cloud masking* dilakukan menggunakan band QA_PIXEL dengan threshold tutupan awan di bawah 50%, menghasilkan total 7 scene Landsat 9 dan 18 scene Landsat 8 pada periode 2023 hingga 2024 yang kemudian digabungkan menjadi komposit median representatif. Indeks-indeks spektral yang digunakan sebagai fitur prediktor dihitung dari band-band Landsat sebagai berikut (Tucker, 1979; Zha et al., 2003):

(NDVI):

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

(NDBI):

$$NDBI = (SWIR1 - NIR) / (SWIR1 + NIR)$$

di mana NIR adalah band inframerah dekat, Red adalah band merah tampak, dan SWIR1 adalah band inframerah gelombang pendek pertama dari citra Landsat. Nilai NDVI yang tinggi mengindikasikan kepadatan vegetasi yang besar, sementara nilai NDBI yang positif mengindikasikan kehadiran lahan terbangun (Xu, 2008).

Untuk menghasilkan prediksi LST resolusi tinggi sebesar 10 meter, dibangun model regresi Random Forest dengan 50 pohon keputusan yang dilatih menggunakan sampel titik yang diekstraksi dari komposit Landsat. Fitur input model meliputi NDVI, NDBI, kemiringan lereng (*slope*) dari DEM SRTM, dan informasi tutupan lahan dari ESA WorldCover. Model yang telah dilatih kemudian diterapkan pada fitur-fitur spektral citra Sentinel-2 resolusi 10 m untuk menghasilkan peta LST beresolusi tinggi. Akurasi model dievaluasi menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) yang dihitung berdasarkan persamaan berikut (Willmott & Matsuura, 2005):

$$RMSE = \sqrt{[(1/n) \times \sum (LST_{pred}^{ed} - LST_{obs}^b)^2]}$$

di mana n adalah jumlah titik sampel validasi, LST_{pred} adalah nilai LST hasil prediksi model, dan LST_{obs} adalah nilai LST observasi dari data Landsat. Seluruh proses pengolahan dilakukan pada platform *Google Earth Engine* dengan proyeksi EPSG:32746 (UTM zona 46N).

Penelitian ini memanfaatkan empat jenis data geospasial yang bersumber dari platform *Google Earth Engine* (GEE) untuk mendukung proses prediksi dan pemetaan Land Surface Temperature (LST) di wilayah Kota Banda Aceh. Data utama yang digunakan adalah citra Landsat 8 dan Landsat 9 Level-2 Surface Reflectance and Thermal (koleksi LANDSAT/LC08/C02/T1_L2 dan LANDSAT/LC09/C02/T1_L2) dengan resolusi spasial 30 m yang mencakup periode tahun 2023–2024, berfungsi sebagai sumber data primer dalam derivasi nilai LST berbasis algoritma *Split-Window* maupun pendekatan berbasis emisivitas. Selain itu, data elevasi dari USGS SRTM dengan resolusi 30 m diintegrasikan untuk variabel topografis. Sebagai representasi tutupan lahan, digunakan data penggunaan lahan dari ESA WorldCover v100 beresolusi 10 m yang diproduksi tahun 2020. Terakhir, citra Sentinel-2 *Surface Reflectance Harmonized* (COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED) dengan resolusi spasial 10 m pada periode yang ditentukan guna mengekstraksi indeks-indeks spektral seperti NDVI, NDBI, dan MNDWI yang menjadi fitur utama dalam proses peningkatan resolusi spasial LST dari 30 m menjadi 10 m.

Tabel 1. Data yang Digunakan dalam Prediksi LST

No	Data	Sumber	Resolusi	Periode
1	Citra Landsat 8 & 9 (Surface Reflectance & Thermal)	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2 dan LANDSAT/LC09/C02/T1_L2	30 m	2023–2024
2	Elevasi Digital (DEM)	USGS/SRTMGL1_003	30 m	2000 (global)
3	Land Use Land Cover (LULC)	ESA WorldCover v100	10 m	2020
4	Citra Sentinel-2 SR Harmonized	COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED	10 m	April–Juni 2024

Sumber: Analisis Data, 2026.

Akuisisi Data dan Pengolahan LCZ

Klasifikasi LCZ dilakukan menggunakan *rule-based classification* dengan memanfaatkan indeks-indeks spektral yang diturunkan dari citra Sentinel-2 Level-2A periode April hingga Juni 2024. Selain NDVI dan NDBI yang telah dijelaskan pada persamaan (2) dan (3), digunakan pula indeks tambahan sebagai berikut: Normalized Difference Water Index (NDWI):

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$$

NDWI (*Normalized Difference Water Index*) dihitung menggunakan band *Green* (hijau tampak) dan *NIR* (inframerah dekat/*Near-Infrared*) dari citra *Sentinel-2*. Nilai NDWI yang tinggi (mendekati +1) mengindikasikan kehadiran badan air, sedangkan nilai yang rendah atau negatif mengindikasikan lahan kering atau lahan terbangun (McFeeters, 1996). Nilai band *SWIR2* (*Short-Wave Infrared 2*, band B12 *Sentinel-2*) digunakan sebagai diskriminator tambahan untuk membedakan lahan terbangun dari jenis tutupan lahan lainnya.

Proses *cloud masking* dilakukan menggunakan *bitmask* pada band QA60 dengan menyingkirkan piksel yang teridentifikasi sebagai awan. Seluruh indeks spektral diselaraskan ke sistem proyeksi EPSG:32746 (UTM zona 46N) dengan resolusi spasial 10 meter. LCZ diklasifikasikan ke dalam dua tipe utama, yaitu tipe terbangun (LCZ 2 hingga 10) dan tipe alami (LCZ 11 hingga 17), berdasarkan nilai ambang *threshold* masing-masing indeks spektral yang mengacu pada parameter karakteristik zona yang dikembangkan oleh Stewart dan Oke (2012). Dalam penelitian ini teridentifikasi 11 kelas LCZ yang mencerminkan keragaman morfologi perkotaan dan alami Kota Banda Aceh.

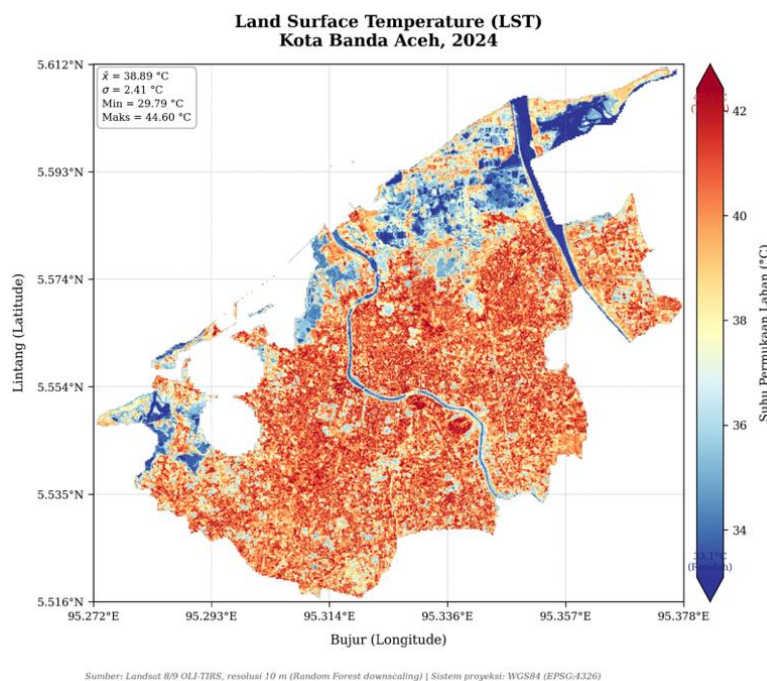
TEMUAN DAN PEMBAHASAN

Akurasi Model Random Forest

Model regresi Random Forest yang digunakan untuk memprediksi LST resolusi 10 m dilatih menggunakan 2.345 sampel titik (80% dari total sampel) dan divalidasi menggunakan 605 sampel titik independen (20% dari total sampel). Hasil evaluasi menunjukkan nilai RMSE sebesar $2,56^{\circ}\text{C}$, yang mengindikasikan tingkat akurasi prediksi yang memadai untuk keperluan analisis spasial termal perkotaan. Nilai RMSE ini berada dalam rentang yang dilaporkan pada penelitian-penelitian serupa menggunakan pendekatan *machine learning* untuk prediksi LST (Zhao et al., 2021). Analisis *feature importance* menunjukkan bahwa NDBI merupakan prediktor dengan kontribusi terbesar (nilai kepentingan relatif: 400.080.638), diikuti oleh NDVI (384.672.035), slope (269.978.227), dan LULC (176.653.225). Dominansi NDBI sebagai prediktor utama mengkonfirmasi peran krusial kepadatan kawasan terbangun dalam menentukan besaran suhu permukaan lahan, konsisten dengan temuan Huang et al. (2023). Nilai *out-of-bag error estimate* sebesar 2,60 turut mengindikasikan kestabilan model yang baik.

Sebaran Spasial Suhu Permukaan Lahan (LST)

Hasil prediksi LST resolusi 10 meter di Kota Banda Aceh pada periode April hingga Juni 2024 menunjukkan variasi spasial dengan rentang antara $29,63^{\circ}\text{C}$ - $45,30^{\circ}\text{C}$ dan nilai rata-rata sebesar $38,91^{\circ}\text{C}$ (standar deviasi: $2,56^{\circ}\text{C}$). Nilai suhu permukaan lahan tersebut diklasifikasikan ke dalam empat kelas sesuai pembagian interval yang proporsional, sebagaimana disajikan pada Tabel 3 dan divisualisasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sebaran LST Kota Banda Aceh Periode April–Juni 2024
(Sumber: Pengolahan Data, 2026)

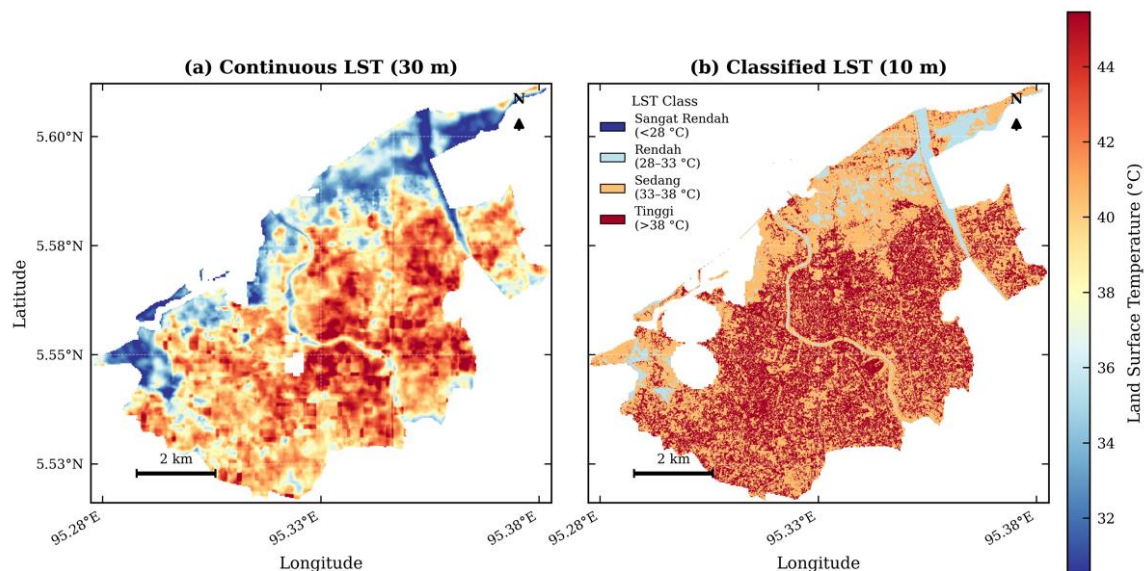
Tabel 3. Luasan dan Persentase Kelas LST Kota Banda Aceh Tahun 2024

Kelas	Rentang Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Kategori	Luas (km^2)	Persentase (%)
I	29,63 – 34,24	Rendah	3,29	6,1
II	34,24 – 38,85	Sedang	29,49	54,9
III	38,85 – 43,46	Tinggi	20,90	38,9
IV	43,46 – 45,30	Sangat Tinggi	0,00	0,0
Total			53,68	100,0

Sumber: Hasil Analisis Data, 2026.

Berdasarkan **Tabel 3**, sebagian besar wilayah Kota Banda Aceh pada tahun 2024 didominasi oleh suhu permukaan kelas II (34,24 hingga 38,85°C) yang mencakup 54,9% dari total luas wilayah, diikuti oleh kelas III (38,85 hingga 43,46°C) sebesar 38,9%. Dengan demikian, sebesar 93,8% wilayah Kota Banda Aceh berada pada rentang suhu permukaan di atas 34°C. Tingginya proporsi area bersuhu tinggi ini mencerminkan dominansi kawasan terbangun yang memiliki kapasitas penyerapan dan pemancaran panas yang lebih besar dibandingkan kawasan vegetasi (Ibrahim et al., 2016). Fenomena ini konsisten dengan hasil penelitian di kota-kota pesisir tropis lainnya yang menunjukkan korelasi positif antara ekspansi kawasan terbangun dan peningkatan LST (Ramsay et al., 2023).

Distribusi spasial LST yang divisualisasikan pada **Gambar 2** memperlihatkan konsentrasi suhu tinggi pada kawasan pusat kota dan permukiman padat, sementara area bersuhu relatif lebih rendah teridentifikasi pada zona vegetasi dan badan air. Perbedaan suhu antara area bervegetasi dan kawasan terbangun yang dapat mencapai 2 hingga 3°C ini konsisten dengan temuan Ibrahim et al. (2016) dan menegaskan peran tutupan vegetasi sebagai regulator termal perkotaan melalui proses evapotranspirasi dan penyerapan radiasi matahari. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian di Kota Pariaman yang menunjukkan bahwa wilayah dengan kerapatan vegetasi tinggi secara konsisten mencatat suhu permukaan lebih rendah dibandingkan kawasan terbangun (Sidiq et al., 2026). Untuk perbandingan visual, peta LST dari data Landsat asli resolusi 30 m juga disajikan pada **Gambar 3**.



Source: Landsat 8/9 OLI-TIRS, 2024 | Processed with Google Earth Engine | Projection: WGS 84

Gambar 3. Perbandingan LST Landsat 30m dan LST Prediksi Random Forest 10m di Kota Banda Aceh
(Sumber: Hasil Pengolahan Data Primer, 2026)

Sebaran Spasial Zona Iklim Lokal (LCZ)

Hasil klasifikasi LCZ berbasis aturan di Kota Banda Aceh mengidentifikasi 11 kelas zona iklim lokal yang mencerminkan keragaman karakteristik morfologi perkotaan dan alami di wilayah kajian. Distribusi luasan masing-masing kelas LCZ disajikan pada **Tabel 4**.

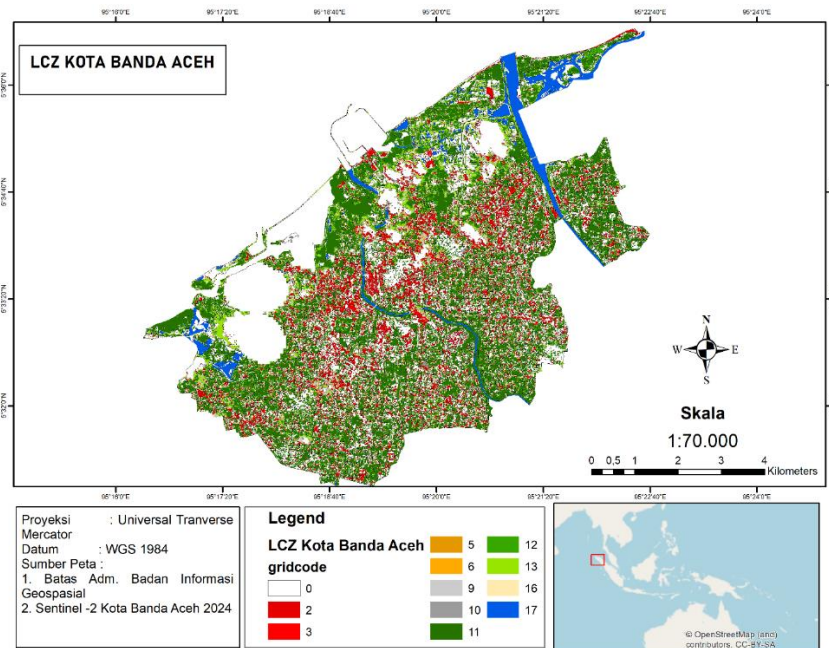
Tabel 4. Distribusi Luasan LCZ Kota Banda Aceh Tahun 2024

Kelas LCZ	Kode	Nama LCZ	Luas (km ²)	Luas (ha)	(%)
Terbangun	2	<i>Compact Mid-Rise</i>	3,86	385,5	7,2
	3	<i>Compact Low-Rise</i>	1,62	162,4	3,0
	5	<i>Open Mid-Rise</i>	0,08	8,0	0,1
	6	<i>Open Low-Rise</i>	0,97	97,3	1,8
	9	<i>Sparsely Built</i>	1,77	177,4	3,3

Alami	10	Heavy Industry	0,26	26,2	0,5
	11	Dense Trees	10,82	1.081,9	20,2
	12	Scattered Trees	7,99	799,3	14,9
	13	Bush and Scrub	2,38	238,2	4,4
	16	Bare Land/ Lahan Terbuka	0,08	8,2	0,2
	17	Water	2,30	230,0	4,3
Total			32,13	3.214,8	60,0*

Sumber: Analisis Data, 2026.

*Sisa luas merupakan piksel yang tidak terklasifikasi akibat keterbatasan valid data mask Sentinel-2.



Gambar 4. Peta DIstribusi *Local Climate Zones* (LCZ) Kota Banda Aceh Tahun 2024
 (Sumber: Pengolahan Data, 2026)

Berdasarkan **Tabel 4**, zona alami mendominasi tutupan lahan Kota Banda Aceh, dengan LCZ 11 (Dense Trees) merupakan kelas dengan luasan terbesar mencapai 10,82 km² (20,2%), diikuti oleh LCZ 12 (Scattered Trees) seluas 7,99 km² (14,9%). Kondisi ini mencerminkan warisan ekologis Kota Banda Aceh yang masih memiliki tutupan vegetasi yang relatif signifikan, terutama di kawasan pinggiran kota. Pola distribusi ini tidak terlepas dari karakteristik topografi Kota Banda Aceh yang secara umum relatif datar dengan elevasi rendah (dataran pesisir), sehingga tidak terdapat kendala kontur yang signifikan bagi perluasan area terbangun ke arah pinggiran; namun demikian, morfologi wilayah yang berkembang secara linier mengikuti jaringan jalan utama dan aliran sungai menyebabkan konsentrasi pembangunan cenderung memusat di kawasan tertentu, sementara kawasan lain terutama yang berbatasan dengan lahan basah, tambak, atau area rawan genangan tetap mempertahankan tutupan vegetasi maupun lahan terbuka. Di antara zona terbangun, LCZ 2 (*Compact Mid-Rise*) memiliki luasan terbesar yakni 3,86 km² (7,2%), yang terkonsentrasi di kawasan pusat kota dan koridor komersial sehingga intensitas bangunan bertingkat sedang cenderung memadat di kawasan inti tersebut. Sementara itu, keberadaan LCZ 16 (*Bare Soil*) seluas 0,08 km² mencerminkan kondisi lahan terbuka yang merupakan karakteristik unik Kota Banda Aceh pasca rekonstruksi tsunami (Maru et al., 2015), di mana sebagian lahan bekas terdampak bencana yang belum sepenuhnya dimanfaatkan kembali akibat kerentanan terhadap risiko bencana serta proses relokasi permukiman ke area yang dinilai lebih aman secara topografis.

Hubungan LCZ dan LST di Kota Banda Aceh

Analisis statistik zonal terhadap hubungan antara kelas LCZ dan nilai LST rata-rata mengungkapkan pola yang konsisten dengan hipotesis dasar penelitian LCZ-UHI. Hasil analisis disajikan

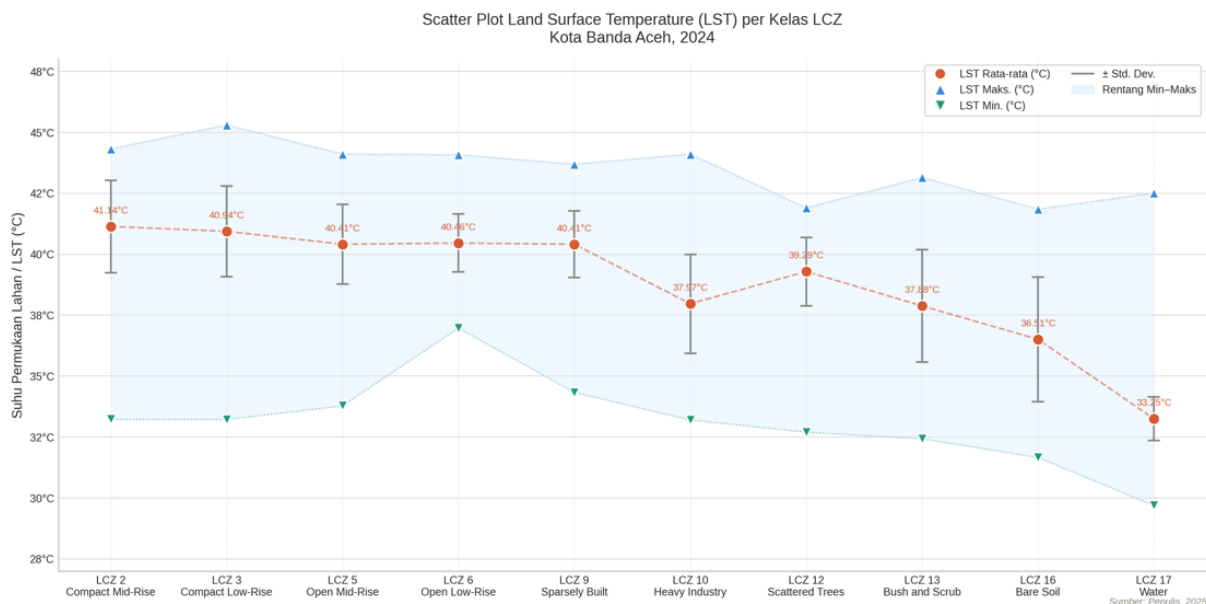
secara lengkap pada Tabel 5 dan divisualisasikan pada Gambar 5. Pola hubungan positif antara kepadatan morfologi LCZ dan LST yang ditemukan dalam penelitian ini sejalan dengan temuan Rizqi dan Wibowo (2025) di kawasan Undip Tembalang, yang melaporkan korelasi *Spearman ρ* = 0,90 antara skor kepadatan LCZ dan nilai LST rata-rata. Perlu dicatat bahwa kedua lokasi memiliki karakteristik fisiografis yang berbeda dimana Banda Aceh merupakan dataran pesisir rendah, sedangkan Tembalang merupakan kawasan perbukitan dengan kelerengan bervariasi (0–>40%) sehingga kesamaan pola hubungan LCZ-LST pada kedua wilayah tersebut perlu dimaknai dengan mempertimbangkan perbedaan konteks topografi ini.

Tabel 5. Statistik LST per Kelas LCZ di Kota Banda Aceh Tahun 2024

LCZ	Nama Zona	LST Rata-rata (°C)	LST Maks. (°C)	LST Min. (°C)	Std. Dev. (°C)
2	<i>Compact Mid-Rise</i>	41,14	44,32	33,23	1,89
3	<i>Compact Low-Rise</i>	40,94	45,30	33,22	1,86
5	<i>Open Mid-Rise</i>	40,41	44,11	33,78	1,63
6	<i>Open Low-Rise</i>	40,46	44,08	36,97	1,19
9	<i>Sparsely Built</i>	40,41	43,69	34,33	1,37
10	<i>Heavy Industry</i>	37,97	44,11	33,20	2,03
11	<i>Dense Trees</i>	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*
12	<i>Scattered Trees</i>	39,29	41,90	32,70	1,40
13	<i>Bush and Scrub</i>	37,88	43,15	32,43	2,30
16	<i>Bare Soil / Lahan Terbuka</i>	36,51	41,85	31,66	2,56
17	<i>Water</i>	33,25	42,51	29,69	0,90

Sumber: Analisis Data, 2026.

*Data LST untuk LCZ 11 (*Dense Trees*) tidak tersedia akibat keterbatasan valid data mask Sentinel-2 pada area vegetasi lebat.



Gambar 5. Grafik Rata-rata LST per Kelas LCZ di Kota Banda Aceh Tahun 2024
(Sumber: Pengolahan Data, 2026)

Hasil analisis pada **Tabel 5** menunjukkan bahwa zona terbangun secara konsisten mencatat nilai LST rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan zona alami. LCZ 2 dan LCZ 3 merupakan zona dengan suhu permukaan rata-rata tertinggi, masing-masing sebesar 41,14°C dan 40,94°C. Temuan ini konsisten dengan penelitian Kotharkar dan Bagade (2018) yang melaporkan bahwa zona compact memiliki suhu rata-rata lebih tinggi hingga 5°C dibandingkan zona terbuka, tingginya konduktivitas panas material

bangunan. Kondisi ini relevan dengan konteks Kota Banda Aceh, di mana sebagian besar kawasan terbangun padat merupakan hasil rekonstruksi pascatsunami yang dilaksanakan oleh berbagai lembaga donor dengan variasi kualitas dan tipe material bangunan (Kennedy et al., 2008). Penelitian di berbagai kota Asia juga mengkonfirmasi pola serupa, di mana LCZ dengan kepadatan bangunan tinggi secara konsisten menunjukkan suhu permukaan yang lebih tinggi (Zhao et al., 2021).

Sebaliknya, zona perairan (LCZ 17) mencatat nilai LST rata-rata terendah sebesar 33,25°C, menunjukkan selisih sekitar 7,89°C dibandingkan LCZ 2. Perbedaan yang signifikan ini dapat dijelaskan oleh kapasitas panas spesifik air yang tinggi, sehingga menyerap panas lebih lambat dan menghasilkan suhu permukaan yang relatif lebih rendah (Li et al., 2009). Zona *Bush and Scrub* (LCZ 13) dan *Heavy Industry* (LCZ 10) menempati posisi menengah dengan nilai rata-rata masing-masing 37,88°C dan 37,97°C. Menariknya, LCZ 10 menunjukkan nilai standar deviasi yang relatif tinggi (2,03°C), mengindikasikan variabilitas termal yang besar dalam zona tersebut, variabilitas ini diduga terkait heterogenitas tutupan lahan di sekitar kawasan tersebut sebagaimana teridentifikasi pada citra Sentinel-2, namun verifikasi lapangan lebih lanjut diperlukan untuk memastikan jenis dan sebaran fasilitas industri spesifik yang berkontribusi terhadap pola ini.

Pola hubungan LCZ-LST yang teridentifikasi di Kota Banda Aceh mempertegas bahwa distribusi termal perkotaan sangat ditentukan oleh karakteristik morfologi dan material permukaan yang dicirikan oleh klasifikasi LCZ. Fenomena ini sesuai dengan kerangka teoritis yang dikemukakan oleh Stewart dan Oke (2012), di mana perbedaan antara zona iklim lokal secara langsung mencerminkan perbedaan dalam sifat-sifat permukaan yang mengontrol pertukaran energi. Dalam konteks Kota Banda Aceh, keberadaan kawasan vegetasi campuran (kebun masyarakat, lahan pertanian, dan tegakan pohon) yang masih cukup luas berperan sebagai penyeimbang termal yang penting, meskipun tekanan urbanisasi yang terus meningkat berpotensi mengurangi fungsi regulasi termal tersebut (Cilek & Cilek, 2021).

Temuan mengenai dominansi zona bersuhu tinggi (93,8% wilayah dengan LST di atas 34°C) di Kota Banda Aceh memiliki implikasi penting bagi kesehatan masyarakat dan kenyamanan termal perkotaan, terutama mengingat kondisi iklim tropis lembab yang sudah menempatkan kota ini pada kondisi termal yang menuntut. Temuan ini memperkuat urgensi percepatan pencapaian target Ruang Terbuka Hijau (RTH) publik sebesar 9,25% sebagaimana diamanatkan Qanun Kota Banda Aceh Nomor 4 Tahun 2009 tentang RTRW 2009–2029, mengingat realisasi RTH publik hingga tahun 2022 baru mencapai 14,31% dari target (DLHK3 Banda Aceh, 2022).

SIMPULAN

Penelitian ini menganalisis hubungan antara Zona Iklim Lokal (LCZ) dan Suhu Permukaan Lahan (LST) di seluruh Kota Banda Aceh melalui integrasi penginderaan jauh dan machine learning berbasis Google Earth Engine. Model Random Forest menghasilkan prediksi LST beresolusi 10 m (RMSE 2,56°C) dan menempatkan intensitas kawasan terbangun (NDBI) sebagai determinan utama suhu permukaan. Dari 11 kelas LCZ yang teridentifikasi, zona alami (*Dense Trees* dan *Scattered Trees*) mendominasi hingga 35,1% wilayah. Zona terbangun padat mencatat suhu tertinggi, yakni LCZ 2 (rata-rata 41,14°C) dan LCZ 3 (40,94°C), sedangkan zona perairan (LCZ 17) terendah dengan 33,25°C. Selisih hampir 8°C ini menegaskan peran badan air sebagai pengendali suhu mikroklimat perkotaan. Dengan 93,8% wilayah berada pada LST di atas 34°C, mitigasi Urban Heat Island menjadi mendesak, melalui peningkatan tutupan vegetasi pada koridor kawasan terbangun padat serta pelestarian badan air dan kawasan pesisir sebagai zona pendingin alami. Penerapannya perlu mempertimbangkan konteks pasca-rekonstruksi tsunami, dan penelitian lanjutan disarankan mengintegrasikan data suhu udara dan kelembapan relatif untuk memperkuat pemahaman dinamika termal kota.

DAFTAR PUSTAKA

- Bechtel, B., Alexander, P. J., Bohner, J., Ching, J., Conrad, O., Feddema, J., Mills, G., See, L., & Stewart, I. (2015). Mapping local climate zones for a worldwide database of the form and function of cities. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(1), 199–219. <https://doi.org/10.3390/ijgi4010199>
- Cetin, M., Ozenen Kavlak, M., Senyel Kurkcuoglu, M. A., Bilge Ozturk, G., Cabuk, S. N., & Cabuk, A. (2024). Determination of land surface temperature and urban heat island effects with remote

- sensing capabilities: The case of Kayseri, Türkiye. *Natural Hazards*, 120(6), 5509–5536. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06431-5>
- Cilek, M. U., & Cilek, A. (2021). Analyses of land surface temperature (LST) variability among local climate zones (LCZs) comparing Landsat-8 and ENVI-met model data. *Sustainable Cities and Society*, 69, 102877. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102877>
- Darlina, S. P., Sasmito, B., & Yuwono, B. D. (2018). Analisis fenomena Urban Heat Island serta mitigasinya: Studi kasus Kota Semarang. *Jurnal Geodesi Undip*, 7(3), 77–87. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2018.21223>
- Fitria, A., Yudana, G., & Suminar, L. (2024). Penerapan konsep green city pada taman kota (Studi kasus: Taman Kota Blang Padang, Kota Banda Aceh). *Desa-Kota: Jurnal Perencanaan Wilayah, Kota, dan Permukiman*, 6(2), 98–110. <https://doi.org/10.20961/desa-kota.v6i2.84771.98-110>
- Hotimah, O., Zaini, N., Putri, O. F., & Husniya, S. A. (2025). Fenomena Urban Heat Island dalam perspektif geografi regional: Studi perbandingan Jakarta dan Kuala Lumpur. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, 9(2), 128–138. <https://doi.org/10.29408/geodika.v9i2.29926>
- Huang, F., Jiang, S., Zhan, W., Bechtel, B., Liu, Z., Demuzere, M., Cao, X., Hu, L., Wang, Y., Xu, Y., & Chen, J. (2023). Mapping local climate zones for cities: A large review. *Remote Sensing of Environment*, 292, 113573. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113573>
- Ibrahim, I., Abu Samah, A., Fauzi, R., & Noor, N. M. (2016). The land surface temperature impact to land cover types. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41(B3), 871–876. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B3-871-2016>
- Kennedy, J., Ashmore, J., Babister, E. and Kelman, I. (2008), The Meaning of ‘Build Back Better’: Evidence Form Post-Tsunami Aceh and Sri Lanka. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 16: 24-36. <https://doi.org/10.1111/j.1468-5973.2008.00529.x>
- Maru, R., Baharuddin, I. I., Umar, R., Rasyid, R., Uca, U., Sanusi, W., & Bayudin, B. (2015). Analysis of the heat island phenomenon in Makassar, South Sulawesi, Indonesia. *American Journal of Applied Sciences*, 12(9), 616–626. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2015.616.626>
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Moazzam, M. F. U., Doh, Y. H., & Lee, B. G. (2022). Impact of urbanization on land surface temperature and surface urban heat island using optical remote sensing data: A case study of Jeju Island, Republic of Korea. *Building and Environment*, 222, 109368. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109368>
- Qanun Kota Banda Aceh Nomor 4 Tahun 2009 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Banda Aceh Tahun 2009–2029. (2009). Banda Aceh: Pemerintah Kota Banda Aceh.
- Ramsay, E. E., Duffy, G. A., Burge, K., Taruc, R. R., Fleming, G. M., Faber, P. A., & Chown, S. L. (2023). Spatio-temporal development of the urban heat island in a socioeconomically diverse tropical city. *Environmental Pollution*, 316, 120443. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120443>
- Rizqi, B., & Wibowo, A. (2025). Spatiotemporal LCZ dan hubungannya dengan fenomena UHI di kawasan Universitas Diponegoro Tembalang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(5), 1280–1291. <https://doi.org/10.14710/jil.23.5.1280-1291>
- Sidiq, V. N., Driptufany, D. M., Defwaldi, & Armi, I. (2026). Korelasi antara Leaf Area Index (LAI) dan Land Surface Temperature (LST) menggunakan data penginderaan jauh. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, 10(2), 200–206. <https://doi.org/10.29408/geodika.v10i2.34270>
- 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>

- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- United States Geological Survey (USGS). (2024). Landsat Collection 2 Level-2 science product guide. USGS Landsat Program. <https://landsat.usgs.gov>
- Xu, H. (2008). A new index for delineating built-up land features in satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 29(14), 4269–4276. <https://doi.org/10.1080/01431160802039957>
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583–594. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>
- Zhao, Z., Sharifi, A., Dong, X., Shen, L., & He, B. J. (2021). Spatial variability and temporal heterogeneity of surface urban heat island patterns and the suitability of local climate zones for land surface temperature characterization. *Remote Sensing*, 13(21), 4338. <https://doi.org/10.3390/rs13214338>