

ANALISIS SPASIO-TEMPORAL FENOMENA URBAN HEAT ISLAND DAN HUBUNGANNYA TERHADAP ASPEK FISIK DI KOTA MAKASSAR (1993-2021)

Spatio-Temporal Analysis of Urban Heat Island Phenomenon and Their Relationship to Physical Aspects in Makassar City (1993-2021)

Septianto Aldiansyah^{1)*}, Farida Wardani²⁾

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

²⁾Pendidikan Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Yogyakarta.

*E-mail: septianto.aldiansyah@ui.ac.id

Intisari

Fenomena Urban Heat Island (UHI) terjadi jika suhu permukaan suatu wilayah memiliki perbedaan yang signifikan dengan wilayah di sekitarnya. Salah satu penyebabnya adalah perubahan tutupan lahan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis fenomena UHI akibat perubahan tutupan lahan serta melihat korelasinya terhadap aspek fisik wilayah di Kota Makassar. Metode yang digunakan dalam mendeteksi UHI adalah teknik penginderaan jauh multi-temporal pada citra Landsat 5 TM dan Landsat 8 OLI/TIRS dengan mengekstraksi nilai suhu permukaan dengan algoritma Land Surface Temperature pada Landsat 8 OLI/TIRS dan Brightness Temperature pada Landsat 5 TM. Metode Random Forest digunakan untuk mengklasifikasikan tutupan lahan. Setiap aspek fisik wilayah yang diekstrak dari algoritma Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Built-up Index (NDBI), dan Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) diuji korelasi dengan Determination Correlation. Perubahan tutupan lahan berdampak terhadap fenomena UHI. Lahan terbangun terus meningkat hingga 45,68 km² dengan suhu rata-rata yaitu 1-3 °C. Fenomena distribusi dan intensitas UHI terjadi di daerah pusat perkotaan dan kenaikan intensitas UHI mencapai 4 °C. Terdapat hubungan yang kuat dan konsisten antara suhu permukaan dan kerapatan bangunan dari tahun 1993-2021. Peningkatan area terbangun 1 % akan meningkatkan suhu udara rata-rata hingga 0.039 °C namun tutupan vegetasi hanya mampu mereduksi suhu permukaan sebesar 0.0085 °C. Hal ini berarti tutupan vegetasi tidak mampu mengimbangi peningkatan suhu permukaan di Kota Makassar khususnya di wilayah perkotaan.

Kata Kunci: Distribusi UHI, Intensitas UHI, Kerapatan Bangunan, Suhu Permukaan, Urban Heat Island.

Abstract

The Urban Heat Island (UHI) phenomenon occurs when the surface temperature of an area has a significant difference from that of the surrounding area. One of the causes is the land cover changes. This study aims to analyze the UHI phenomenon due to changes in land cover and see its correlation to the physical aspects of the area in Makassar City. The method used in detecting UHI is a multi-temporal remote sensing technique on Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI/TIRS images by extracting surface temperature values with the Land Surface Temperature algorithm on Landsat 8 OLI/TIRS and Brightness Temperature on Landsat 5 TM. The Random Forest method is used to classify land cover. Every physical aspect of the area extracted from the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Built-up Index (NDBI), and Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) algorithms was tested for correlation with the Determination Correlation. Changes in land cover have an impact on the UHI phenomenon. The built-up area continues to increase to 45.68 km² with an average temperature of 1-3 °C. The distribution of UHI phenomena and intensity occurs in urban center areas, and the increase in UHI intensity reaches 4 °C. A strong and consistent relationship exists between surface temperature and building density from 1993-2021. An increase in the built-up area of 1 % will increase the average air temperature by up to 0.039 °C, but the vegetation cover can only reduce the surface temperature by 0.0085 °C. This means that the vegetation cover cannot keep up with the increase in surface temperature in Makassar City, especially in urban areas.

Keywords: Building Density, Land Surface Temperature, UHI Distribution, UHI Intensity, Urban Heat Island.

1. PENDAHULUAN

Selama abad ke-19, hanya 10% dari populasi dunia yang tinggal di daerah perkotaan; Namun, populasi perkotaan telah mencapai 55,3% dan dapat meningkat menjadi 68,4% pada tahun 2050 (Grimm *et al.*, 2008, Kikon *et al.*, 2016). Selama urbanisasi yang cepat, fenomena alih fungsi lahan serta pembangunan daerah perkotaan yang pesat secara teoritis mempengaruhi parameter kualitas lingkungan baik itu kualitas udara, kelembapan, emisi gas buangan kendaraan dan industri serta peningkatan suhu permukaan tanah yang menyebabkan keseimbangan suhu permukaan berubah (Wang *et al.*, 2019). Perubahan spasial di kawasan urban erat kaitannya dengan peningkatan lahan kedap air sehingga pemantauan perubahan spasial-temporal di kawasan kedap air sangat penting untuk mengidentifikasi pertumbuhan perkotaan (Dutta *et al.*, 2021). Peristiwa tersebut secara tidak langsung dapat mempengaruhi kondisi iklim mikro seperti fenomena *Urban Heat Island* (UHI) (Kikon *et al.*, 2016).

Fenomena UHI terjadi apabila terdapat perbedaan suhu wilayah terhadap wilayah disekitarnya (Pinho & Orgaz, 2000; Oke, 2002). Fenomena UHI yang terjadi pada daerah urban dibedakan menjadi dua yaitu *Surface Urban Heat Island* (SUHI) dan *Atmospheric Urban Heat Island* (AUHI) dengan karakteristik yang berbeda (Roth *et al.*, 1989). Metode dalam penginderaan jauh mampu mengidentifikasi UHI dengan tipe SUHI menggunakan bantuan citra satelit yang memiliki sensor thermal seperti; Landsat (*Land Satellite*), ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), dan MODIS (*Moderate Imaging Spectroradiometer*) (Delarizka *et al.*, 2016; Fawzi, 2017).

Para peneliti telah melaporkan adanya fenomena UHI yang cenderung meningkat di Kota Makassar dalam beberapa dekade terakhir (Maru, 2017; Kurnianti, 2020; Liong, 2021; Mujahid *et al.*, 2023). Aktivitas operasional kendaraan, eksploitasi ruang terbuka hijau, pembangunan kawasan terbangun, serta aktivitas dari sektor industri, permukiman, komersil, pariwisata, perkantoran, pendidikan, dan persampahan diperkirakan berkontribusi dalam terjadinya fenomena UHI di Kota Makassar (Maru *et al.*, 2015; Mujahid *et al.*, 2023). Pendekatan dalam identifikasi fenomena UHI di Kota Makassar melalui citra Landsat pada tahun 1993, 2007, dan 2021 untuk menganalisis peningkatan kenaikan suhu permukaan dan hubungannya pada aspek fisik kota yang terjadi selama kurun waktu tersebut. Ekstraksi informasi suhu permukaan menggunakan metode LST (*Land Surface Temperature*) untuk berbagai jenis citra penginderaan jauh dan masih belum terlalu banyak melihat kondisi secara multi-temporal

terhadap fenomena UHI dan kaitannya terhadap aspek fisik wilayah (Rozenstein *et al.*, 2014). Pendekatan ini dapat menjadi media dalam mengidentifikasi UHI dan sebagai dasar perencanaan wilayah ataupun peningkatan Ruang Terbuka Hijau (RTH).

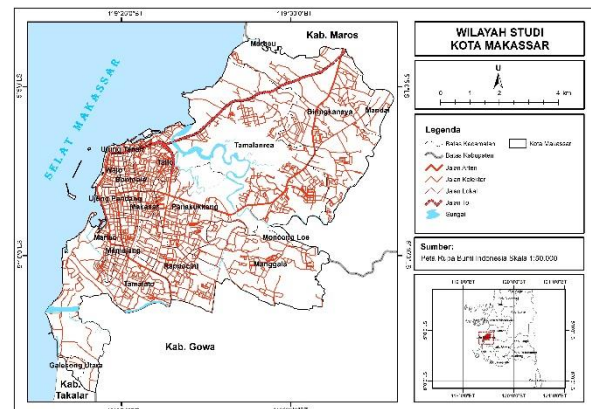
Perkembangan Kota Makassar khususnya daerah yang sedang berkembang, seperti daerah Wajo, Panakkukang, Ujung Pandang, Tamalete, dan Tamalanrea karena faktor pendidikan, pemerintahan, dan perekonomian sebagai daya tarik masyarakat untuk datang dan menetap sementara, dan juga sebagai pekerja maupun berdagang. Kondisi yang terus meningkat tersebut membuat Kota Makassar memiliki perkembangan yang lebih pesat dibandingkan wilayah lain di Sulawesi Selatan. Struktur topografi yang kompleks dimana jarak antara pantai dan pegunungan sangat dekat, membuat Kota Makassar menjadi pemicu awal terjadinya fenomena UHI sebelum menyebar ke wilayah sekitarnya yang diikuti banyaknya perubahan penggunaan lahan.

Penelitian ini bertujuan menganalisis fenomena UHI yang terjadi akibat perubahan tutupan lahan menggunakan teknik penginderaan jauh serta korelasinya terhadap aspek fisik wilayah di Kota Makassar.

2. METODE

2.1. Wilayah Studi

Penelitian ini dilakukan di Kota Makassar yang berada pada 5.0623° LS – 5.2335° LS and 119.3779° BT – 119.5428° BT. Pada penelitian ini, Kota Makassar memiliki luas wilayah 176,41 km² yang diproyeksikan dengan UTM Zone 50S. Wilayah ini berada di dekat pesisir dan memiliki dua musim yaitu musim penghujan dan kemarau. Musim penghujan dimulai dari Oktober hingga Mei dan musim kemarau dimulai dari bulan Juni hingga September (BPS, 2022). Gambaran wilayah studi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Wilayah Studi.

Tabel 1. Spesifikasi Citra Landsat 5 TM dan Landsat 8 OLI yang digunakan.

Citra Satelit	Band	Resolusi Spasial	Path/Row	Tanggal Akuisisi	Kriteria Akuisisi
Landsat 5 TM	Band 1 – Blue	30	114/064	26-08-1993	AOI, (Tutupan Awan < 5%)
	Band 2 – Green	30	114/064	01-08-2007	
	Band 3 – Red	30			
	Band 4 – Near Infrared (NIR)	30			
	Band 5 – Shortwave Infrared (SWIR) 1	30			
	Band 6 – Thermal	120			
	Band 7 – Shortwave Infrared (SWIR) 2	30			
Landsat 8 OLI/TIRS	Band 2 – Blue	30	114/064	16-09-2021	
	Band 3 – Green	30			
	Band 4 – Red	30			
	Band 5 – Near Infrared (NIR)	30			
	Band 6 – Shortwave Infrared (SWIR) 1	30			
	Band 7 – Shortwave Infrared (SWIR) 2	30			
	Band 10 – Thermal Infrared (TIRS) 1	100			
Band 11 – Thermal Infrared (TIRS) 2	100				

Sumber: NASA, 2013

2.2. Data

Penelitian ini menggunakan data citra Landsat 5 TM dan Landsat 8 OLI/TIRS. Landsat 5 TM digunakan untuk mengidentifikasi fenomena UHI tahun 1993 dan 2007, sedangkan Landsat 8 OLI digunakan untuk mengidentifikasi fenomena UHI tahun 2021. Data diolah dengan teknik penginderaan jauh dengan melakukan koreksi geometrik dan radiometrik. Landsat 5 TM terlebih dahulu di koreksi geometrik untuk memperbaiki posisi/koordinat data citra. Landsat 8 telah terkoreksi geometrik, sehingga hanya dilakukan koreksi radiometrik. Spesifikasi citra yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

2.3. Ekstraksi Land Surface Temperature

Ekstraksi nilai *Land Surface Temperature* pada Landsat 5 menggunakan Band 6, sedangkan pada Landsat 8 menggunakan Band 10 dan 11.

2.3.1. Landsat 5 TM

Informasi kuantitatif dari citra Landsat 5 TM dapat diperoleh dengan mengubah *Digital Number* (DN) menjadi *Physical Quantities* (PQ), Radiance, dan *Brighness temperature* (Bt). Hal ini dilakukan untuk mengoreksi citra yang sebelumnya dikalibrasi oleh efek atmosfer. Citra Landsat 5 dapat dikonversi ke pancaran *Top of Atmosphere* (TOA) menggunakan persamaan berikut (USGS, 2018),

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{MAX_{\lambda}} - L_{MIN_{\lambda}}}{Q_{cal_{MAX}} - Q_{cal_{MIN}}} \right) (Q_{cal} - Q_{cal_{MIN}}) + L_{MIN_{\lambda}} \quad (1)$$

dimana Q_{cal} merupakan nilai piksel yang terkalibrasi kuantitasi dalam DN_s, $L_{MIN_{\lambda}}$ pancaran spektral yang sesuai dengan $Q_{cal_{MIN}}$ (Watts/(m².sr. μm)), dan $L_{MAX_{\lambda}}$ merupakan pancaran spektral yang sesuai dengan $Q_{cal_{MAX}}$ (Watts/(m².sr. μm)).

Sedangkan $Q_{cal_{MIN}}$ adalah nilai piksel terkalibrasi kuantisasi minimum yang sesuai dengan $L_{MIN_{\lambda}}$ (DN=1), dan $Q_{cal_{MAX}}$ nilai piksel terkalibrasi kuantisasi maksimum yang sesuai dengan $L_{MAX_{\lambda}}$ (DN=255).

Nilai *Radiance* selanjutnya diubah menjadi Kelvin (K) menggunakan persamaan 2 dan kemudian diubah lagi menjadi satuan *Celcius* (C) dengan persamaan 3. Ekstraksi nilai *Radiance* menggunakan persamaan berikut (Sultana & Satyanarayana, 2018),

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (2)$$

$$BT = T - 273,15 \quad (3)$$

dimana T merupakan temperature dalam Kelvin, dan L_{λ} nilai Radiance (Watts/(m².sr. μm)). $K1$ dan $K2$ merupakan konstanta kalibrasi radian Spektral 1 ($K1=607,76$) dan Spektral 2 ($K2=1260,56$) secara berturut-turut. Pada Persamaan 3, BT merupakan kecerahan temperatur.

1.1.2. Landsat 8 OLI/TIRS

Ekstraksi kuantitatif citra Landsat 8 OLI/TIRS memiliki tahapan yang serupa dengan Landsat 5 TM. Nilai TOA ditentukan dengan menggunakan persamaan 4, sedangkan nilai *Radiance* ditentukan menggunakan Persamaan 2. Konstanta Kalibrasi radian Spektral 1 dan 2 berbeda untuk Landsat 8 OLI/TIRS. Nilai $K1 = 774,8853$, sedangkan nilai $K2=1321,0789$.

$$L_{\lambda} = 0,0003342 \times Q_{cal} + 0.1 \quad (4)$$

Dimana L_{λ} merupakan radian spektral dari sensor (Watts/(m².sr.μm)). Sedangkan nilai BT ditentukan dengan menggunakan Persamaan 5, dimana

BT_{10} dan BT_{11} merupakan *band thermal infrared* 1 dan 2 secara berturut-turut.

$$BT = \frac{BT_{10} + BT_{11}}{2} \quad (5).$$

Sebelum mengubah BT menjadi LST, penting untuk menghitung nilai emisivitas permukaan tanah (e). Sabrino & Raissouni, (2000) mengusulkan metodologi dengan menggunakan algoritma estimasi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Band 4 dan 3 digunakan untuk menghitung estimasi NDVI dengan persamaan berikut (Estoque *et al.*, 2016),

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (6)$$

dimana NDVI merupakan nilai indeks kerapatan vegetasi, NIR merupakan Band 4, dan Red merupakan Band 3.

Setelah nilai NDVI diperoleh, selanjutnya menghitung nilai Proporsi Vegetasi (Pv) menggunakan persamaan berikut:

$$Pv = \frac{(NDVI - NDVI_{Min})}{(NDVI_{Max} - NDVI_{Min})} \quad (7)$$

dimana Pv merupakan proporsi vegetasi, $NDVI_{Min}$ menunjukkan nilai minimum NDVI, dan $NDVI_{Max}$ menunjukkan nilai maksimum NDVI.

Setelah mendapatkan nilai Pv , nilai emisivitas permukaan tanah (e) selanjutnya dihitung dengan menggunakan Persamaan 8, dengan m memiliki nilai 0,004 dan n memiliki nilai 0,986

$$e = m Pv + n \quad (8).$$

Estimasi suhu permukaan tanah (LST) dihitung menggunakan Persamaan 9 dan suhu yang diperoleh dalam satuan Kelvin, diubah menjadi skala satuan Celcius menggunakan persamaan berikut (Artis & Carnahan, 1982), dimana λ merupakan panjang gelombang pancaran *radiance* (Band 10 = 10,8; Band 11 = 12) dan a merupakan konstanta yang diperoleh dari $h*c/\sigma$ (1,4388 μ mK). h adalah konstanta Plank's = 6.626*10⁻³⁴Js; c adalah kecepatan cahaya = 2.998*10⁸ ms⁻¹; dan σ adalah konstanta Boltzmann = 1,38*10⁻²³ J K⁻¹.

$$LST = \frac{BT}{\left[1 + \left(\frac{\lambda x BT}{a}\right) \ln(e)\right]} \quad (9).$$

2.4. Identifikasi Urban Heat Island

Fenomena UHI yang dikaji berfokus pada fenomena UHI di perkotaan dengan mengacu pada hasil LST. Fenomena UHI dihitung menggunakan persamaan berikut (Ma *et al.*, 2010), dimana μ merupakan nilai rata-rata suhu permukaan (dalam K) dan α merupakan standar deviasi suhu permukaan (dalam K).

$$T > \mu + 0.5\alpha \quad (10)$$

$$0 < T \leq \mu + 0.5\alpha \quad (11)$$

Hasil dari Persamaan 10 dan 11 dianggap belum mampu merepresentasi kondisi suhu permukaan sehingga perlu dikembangkan menggunakan metode Rajasekar & Weng (2009) dengan mengadopsi metode yang diterapkan oleh Ma *et al.* (2010). Sebaran *urban heat island* (UHI) dihitung menggunakan persamaan berikut, dimana T_{mean} merupakan suhu permukaan.

$$UHI = T_{mean} - (\mu + 0.5\alpha) \quad (12)$$

Intensitas UHI pada penelitian ini menggunakan metode yang dikembangkan oleh Xu *et al.* (2013) dan diklasifikasikan berdasarkan Tabel 2 dari hasil LST. Intensitas UHI digunakan untuk mengetahui akibat yang dihasilkan oleh fenomena UHI melalui perbedaan suhu relatif. Intensitas UHI dihitung menggunakan persamaan berikut,

$$T_r = \frac{T_s - \bar{T}_s}{\bar{T}_s} T_r = \frac{T_s - \bar{T}_s}{\bar{T}_s} \quad (13)$$

dimana T_r merupakan suhu permukaan relative (°C), T_s merupakan suhu permukaan (°C), dan \bar{T}_s merupakan rata-rata suhu permukaan (°C).

Tabel 2. Klasifikasi Intensitas UHI

LST Relatif	Intensitas UHI
<0	Daerah Pinggiran Kota
≥0	UHI

Sumber: Tsou *et al.* (2017)

2.5. Ekstraksi Aspek Fisik

Nilai indeks kerapatan vegetasi ditentukan dengan NDVI menggunakan Persamaan 6. Badan air dan daratan diekstraksi menggunakan MNDWI karena mampu mengurangi pengaruh lensa tanah. Nilai MNDWI dihitung dengan persamaan berikut (Ashraf & Nawaz, 2015),

$$MNDWI = \frac{(Green - SWIR2)}{(Green + SWIR2)} \quad (14)$$

dimana MNDWI menunjukkan nilai indeks kebasahan wilayah, Green merupakan Band 2 (Landsat 5 TM); Band 3 (Landsat 8 OLI/TIRS), SWIR2 merupakan Band 7.

Deteksi area terbangun dilakukan dengan memanfaatkan *Normalized Built-up Index* (NDBI) menggunakan persamaan berikut (Li *et al.*, 2003),

$$NDBI = \frac{(SWIR1 - NIR)}{(SWIR1 + NIR)} \quad (15)$$

dimana NDBI merupakan nilai indeks kerapatan bangunan, NIR merupakan Band 5 (Landsat 5 TM); Band 6 (Landsat 8 OLI/TIRS), dan SWIR1 merupakan Band 4 (Landsat 5 TM); Band 5 (Landsat 8 OLI/TIRS).

2.6. Klasifikasi Tutupan Lahan

Peta tutupan lahan dibuat menggunakan algoritma *Random Forest* (RF) terbimbing pada platform *Google Earth Engine*. Teknik *composite* RGB dilakukan saat melakukan klasifikasi pada kedua jenis citra. Algoritma RF dipilih karena memiliki kinerja yang baik dalam mengklasifikasikan tutupan lahan dengan *composite* citra (Phan *et al.*, 2020). Peta tutupan lahan dinilai akurasi menggunakan uji Akurasi Keseluruhan/*Overall Accuracy* (OA) dan Koefisien Kappa/*Coefficient Kappa* (k) (Congalton & Green, 2008). Nilai k yang baik jika ≥ 80%, dan OA harus selalu lebih tinggi dari nilai k (Congalton & Green, 2008). Uji OA dan k dihitung masing-masing menggunakan Persamaan 16 dan 17, dimana Pc menunjukkan piksel terklasifikasi benar, dan Pn merupakan total piksel.

$$OA = \left(\frac{Pc}{Pn}\right) * 100 \tag{16}$$

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})} \tag{17}$$

dimana r merupakan jumlah baris dan kolom pada matriks error, x_{ii} jumlah pengamatan pada baris i dan kolom ii, x_{i+} jumlah marginal baris i, x_{+i} jumlah marginal kolom i, dan N jumlah total observasi.

Akurasi Pengguna/*User's Accuracy* (UA) dan Akurasi Produsen/*Producer's Accuracy* (PA) juga dihitung untuk setiap kelas tutupan lahan dalam *Confusion matrix* (Congalton & Green, 2008). Validasi dengan UA ditentukan oleh rasio piksel yang dikategorikan dengan benar di kelas tersebut dengan jumlah total piksel yang diklasifikasikan. Demikian pula, PA ditentukan oleh rasio piksel yang dikategorikan dengan benar dengan jumlah total piksel dalam data referensi di setiap kelas.

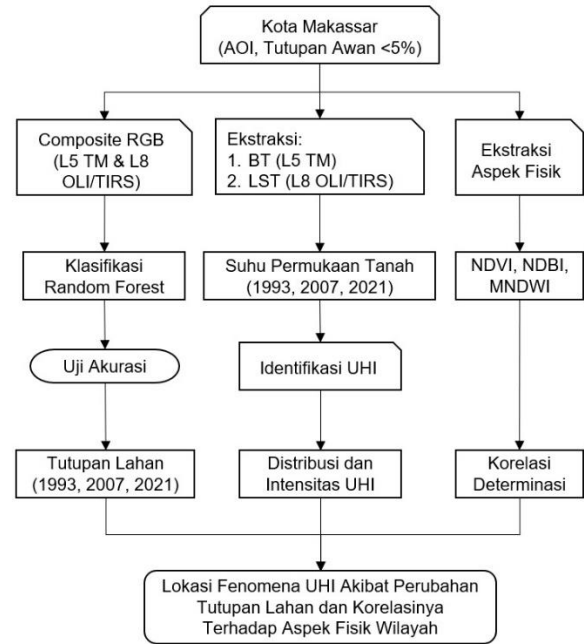
2.7. Analisis Korelasi

Perhitungan nilai korelasi determinasi dilakukan antara LST, NDVI, MNDWI, NDBI. Perhitungan nilai korelasi antar variabel mengacu pada persamaan berikut (Sarwono, 2006).

$$Corr (r2) = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{\{n \sum X^2 - (\sum X)^2\} \{n \sum Y^2 - (\sum Y)^2\}}} \tag{18}$$

dimana *Corr(r2)* merupakan koefisien korelasi determinasi, n merupakan jumlah data berpasangan, $\sum XY$ jumlah produk variabel berpasangan, $\sum X$ untuk jumlah nilai x, $\sum Y$ untuk jumlah nilai y, $\sum X^2$ untuk jumlah nilai x^2 , dan $\sum Y^2$ untuk jumlah nilai y^2 .

Menurut Chin (1998), nilai *R-Square* dikategorikan kuat jika > 0,67, moderat jika > 0,33 tetapi < 0,67, dan lemah jika > 0,19 tetapi lebih < 0,33. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Identifikasi Land Surface Temperature

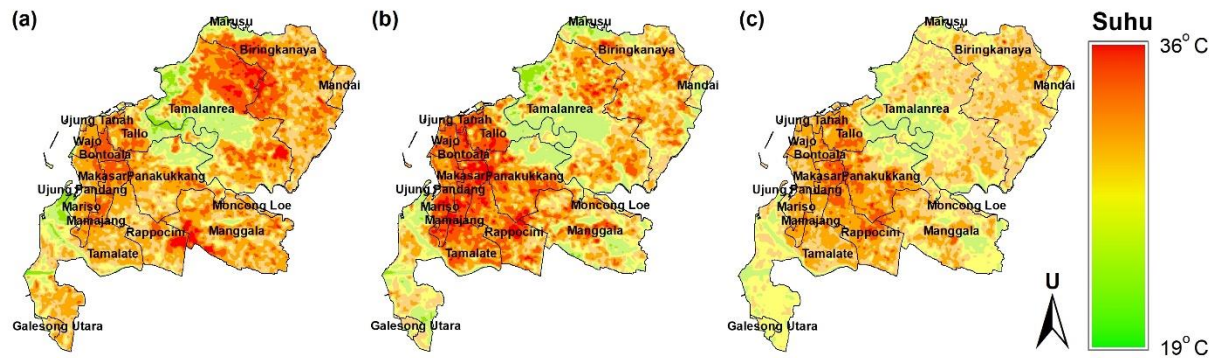
Suhu permukaan yang dihasilkan dari Landsat 5 TM dan Landsat 8 OLI/TIRS memiliki perbedaan dari algoritma yang diterapkan. Pada penelitian ini, Landsat 8 OLI/TIRS memanfaatkan dua band *Thermal Infrared*, sedangkan pada Landsat 5 TM hanya menggunakan *single band Thermal*. Selama ± 3 dekade, suhu permukaan cenderung konstan berada pada kisaran 29,24 °C di Kota Makassar (Tabel 3). Peningkatan suhu rerata mencapai ±4 °C berbeda dengan penelitian Maishella *et al.* (2020) yang hanya mengukur peningkatan suhu sebesar 2.73 °C dalam waktu 5 tahun. Perbedaan ini dapat dipengaruhi oleh faktor lain seperti adanya perubahan tutupan lahan.

Gambar 3 menunjukkan konsentrasi suhu tertinggi tahun 1993 terakumulasi pada Kecamatan Tamalanrea yang merupakan daerah lahan terbuka. Pada tahun 2007-2021, suhu permukaan tertinggi berpindah pada Kecamatan Ujung Tanah, Waji, Tallo, Bontoala, Ujung Pandang hingga ke bagian Rappocini yang mana wilayah ini mulai berkembang menjadi kawasan area padat bangunan.

Tabel 3. Nilai Suhu Permukaan Citra Landsat 5 TM dan Citra Landsat 8 OLI/TIRS

Tahun	Suhu (°C)			Std Dev.
	Min	Max	Mean	
26-08-1993	21,94	36,83	29,62	2,53
01-08-2007	19,73	36,44	29,30	2,81
16-09-2021	23,40	35,07	28,80	2,01

Sumber: Analisis Data, 2022



Gambar 3. Perubahan Suhu Permukaan Tanah; (a) 1993; (b) 2007; (c) 2021.

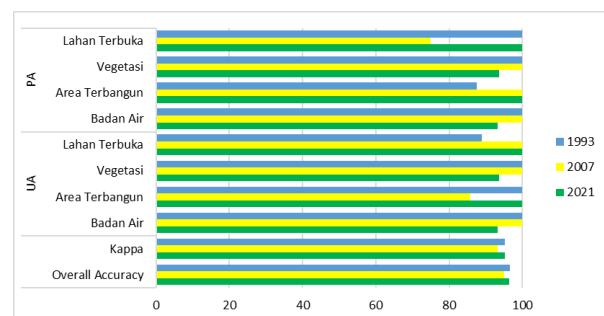
3.2. Perubahan Tutupan Lahan

Tutupan lahan di Kota Makassar dibedakan menjadi lahan terbuka, vegetasi (pertanian/perkebunan, semak, belukar), area terbangun (jalan dengan lapisan aspal, paving atau tanah, permukiman), dan badan air (tambak, sungai, dan danau). Vegetasi memiliki wilayah yang luas di tahun 1993 mencapai 68,02 km², namun jenis tutupan lahan ini menurun hingga dua kali lipat dalam ± 3 dekade. Lahan terbuka juga memiliki cakupan wilayah yang luas di tahun 1993. Pada tahun 2021, tutupan lahan ini berkurang hingga ± 10 km². Kedua jenis tutupan lahan ini terlihat terkonversi menjadi area terbangun (Gambar 5).

Wilayah terbangun terus meningkat dari tahun 1993-2021 hingga mencapai 95,58 km² (Tabel 4). Peningkatan tutupan lahan ini di tahun 1993-2007 bermula di sisi Barat Kota Makassar. Pada tahun 2021, area terbangun terus mengalami peningkatan dan pertumbuhannya terus berkembang di sisi timur wilayah (Gambar 5). Badan air memiliki cakupan wilayah yang kecil, namun tutupan lahan terus berkembang hingga tahun 2007 dan akhirnya menyusut di tahun 2021 hingga seluas 10,85 km². Aksesibilitas ke daerah pusat perkotaan diprediksi menyebabkan perubahan wilayah terbangun terus meningkat. Badan air dikonversi menjadi area terbangun untuk memenuhi peningkatan jumlah penduduk. Menurut Ashari & Maryana (2022) bahwa aksesibilitas jalan dan *proximity* (pusat perniagaan dan wisata) dan kepadatan penduduk mendorong perubahan penggunaan lahan terbangun dan permukiman di Kota Makassar. Perubahan terhadap penggunaan lahan, *urban sprawl*, aglomerasi perkotaan, sistem aktivitas, dan sistem transportasi yang berkesinambungan dan terus meningkat dapat menurunkan kualitas lingkungan di Kota Makassar (Surya *et al.*, 2021).

Suhu permukaan pada tutupan lahan terbuka cenderung konstan dengan nilai rerata suhu sebesar 29 °C dari tahun 1993-2021. Pada

tutupan area terbangun memiliki suhu permukaan rerata 29,44 °C. Sedangkan untuk vegetasi dan badan air memiliki rerata suhu lebih rendah yaitu masing-masing sebesar 28,02 °C dan 26,95 °C. Perbedaan rerata suhu pada jenis tutupan lahan ini berkaitan dengan jenis tutupan lahan yang mampu menyerap hampir seluruh energi matahari seperti lahan terbuka dan wilayah terbangun sehingga suhu di permukaannya akan terus naik. Lahan terbuka dan area terbangun memiliki korelasi yang positif terhadap peningkatan suhu permukaan dan memiliki suhu yang relatif lebih tinggi daripada badan air dan area bervegetasi (Faizizadeh *et al.*, 2013; Adulkongkaew *et al.*, 2020). Alobaydi *et al.* (2016) dan Qaid *et al.* (2016) menjelaskan bahwa konfigurasi bentuk, tingkatan dan luasan perkotaan mendorong peningkatan suhu dan memengaruhi iklim mikro di daerah yang panas dan kering seperti area terbangun dan lahan terbuka. Suhu permukaan umumnya lebih tinggi di *urban canopy layer* dan menggumpal di pusat kota (Voogt, 2002). Sedangkan pada area hijau, sekitar badan air dan bangunan memiliki suhu yang lebih rendah (Maru *et al.*, 2015).



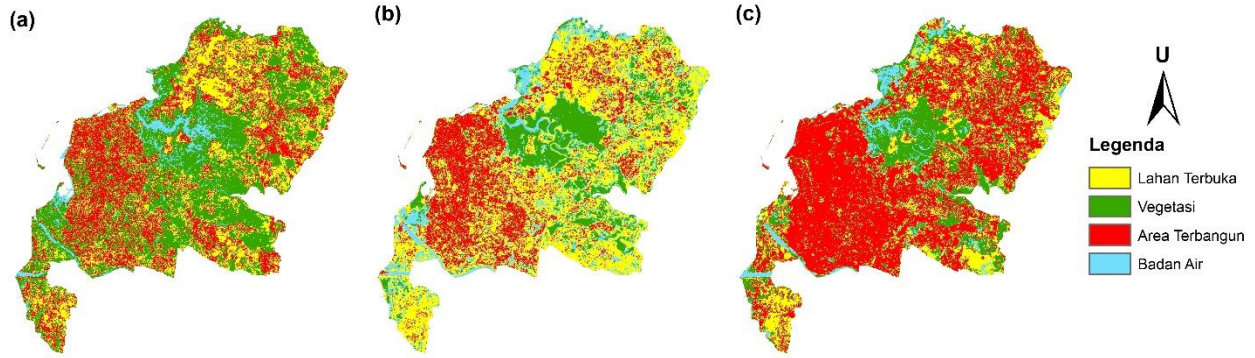
Gambar 4. Akurasi Tutupan Lahan 1993-2021.

Hasil ini dianggap valid karena semua jenis tutupan lahan memiliki akurasi yang baik (> 80 %). Pada tutupan lahan terbuka PA tahun 2007 dengan akurasi 75 % yang disebabkan adanya kesamaan nilai piksel citra dengan tutupan lahan area terbangun (Gambar 4).

Tabel 4. Sebaran Suhu pada dalam Perubahan Tutupan Lahan di Kota Makassar

Tutupan Lahan	Luas (km ²)			Suhu (°C)		
	1993	2007	2021	1993	2007	2021
Lahan Terbuka	50,48	79,08	40,94	23,25 – 34,86	23,25 – 35,27	24,89 – 32,50
Vegetasi	68,02	26,14	29,04	22,81 – 36,05	23,25 – 31,29	24,73 – 29,97
Area Terbangun	49,90	42,28	95,58	24,97 – 34,86	21,94 – 36,05	24,75 – 34,07
Badan Air	8,00	28,91	10,85	22,38 – 28,32	23,25 – 33,66	24,52 – 29,63

Sumber: Analisis Data, 2022



Gambar 5. Perubahan tutupan lahan; (a) 1993; (b) 2007; (c) 2021.

3.3. Analisis Urban Heat Island (UHI)

Pengklasifikasian distribusi UHI bertujuan agar fenomena UHI yang diperoleh dapat diidentifikasi dan dikelompokkan berdasarkan tinggi-rendahnya nilai LST yang dihasilkan (Fawzi, 2017). Distribusi UHI dibagi menjadi tiga kelas yaitu Non-UHI, UHI₁, dan UHI₂. Non-UHI merepresentasikan wilayah yang tidak terdampak fenomena UHI, UHI₁ dikategorikan sebagai wilayah yang memiliki potensi peningkatan fenomena UHI, sedangkan UHI₂ adalah wilayah yang paling signifikan mengalami UHI. Identifikasi fenomena UHI dilakukan untuk memperoleh nilai ambang batas suhu untuk wilayah Kota Makassar sebagai pusat kegiatan perekonomian dan pemerintahan. Berdasarkan nilai ambang batas UHI bahwa pada tahun 1993 fenomena UHI terjadi jika suhu permukaan tanahnya melebihi 31,24 °C, sedangkan jika suhu permukaan tanah di bawah 31,24 °C menandakan wilayah tersebut tidak mengalami fenomena UHI. Berbeda dengan tahun 2007 dan 2021 yang nilai ambang batasnya lebih rendah yaitu masing-masing 30,82 °C dan 29,81 °C (Gambar 6). Ambang batas ini bersifat relatif karena akan berbeda pada wilayah lain.

Tabel 5. Ambang Batas UHI (°C)

Tahun	Bulan	Nilai Ambang Batas (°C)
L5-1993	8	31,24
L5-2007	8	30,82
L8-2021	9	29,81

Sumber: Analisis Data, 2022

Distribusi UHI₁ menunjukkan tren peningkatan luas wilayah dari tahun 1993 hingga 2021 dengan rerata peningkatan 2,18 km². Pada

UHI₂ menunjukkan tren yang bervariasi. Pada tahun 1993-2007 wilayah UHI₂ mengalami peningkatan sebesar 4,7 km², kemudian menurun di tahun 2021 hingga 5,78 km². Wilayah yang tidak terdampak UHI masih memiliki cakupan yang luas. Tahun 1993-2007, wilayah non-UHI menurun hingga 9,72 km², namun kembali meningkat di tahun 2021 sebesar 4,25 km². Distribusi UHI tahun 2021 memiliki penurunan dengan kondisi UHI tahun 2007 dan 1993 (Tabel 6). Hal ini dipengaruhi oleh penggunaan indeks vegetasi dalam mengekstraksi suhu permukaan dan kurang mampu dalam menilai suhu permukaan terhadap kondisi eksisting (Tsou *et al.*, 2017).

Tabel 6. Luas Distribusi UHI (km²)

Kelas	1993	2007	2021
Non-UHI	122.07	112.35	116.60
UHI 1	48.68	53.70	55.22
UHI 2	5.66	10.36	4.58

Sumber: Analisis Data, 2022

Pola yang dihasilkan distribusi UHI jika diperhatikan berbeda dengan jenis tutupan lahannya (Gambar 5). Wilayah terbangun tidak semuanya menjadi wilayah terdampak UHI dan UHI lebih terjadi di wilayah pusat pemerintahan dan ekonomi. Hasil uji statistik menunjukkan tren korelasi yang kuat dan menurun antara peningkatan suhu udara dengan peningkatan kepadatan bangunan disetiap periode. Koefisien determinasi masing-masing tahun 1993, 2007, dan 2021 sebesar 0,5822; 0,4956; dan 0,3398 (Tabel 7-9). Dengan kata lain, secara berturut-

turut dari tahun 1993, 2007, dan 2021 diperkirakan sebesar 58,22 %, 49,56 %, dan 33,39 % peningkatan suhu permukaan dipengaruhi oleh kepadatan bangunan, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Hal ini dapat dipengaruhi dengan luas tutupan vegetasi yang cenderung tetap di tengah wilayah Kota Makassar yang dilalui oleh sungai Tallo sehingga membantu dalam menurunkan suhu permukaan.

Berdasarkan persamaan statistik antara LST dan NDBI tahun 1993, 2007, dan 2021 dimana variabel *y* menyatakan LST dalam °C dan *x* menyatakan kepadatan bangunan. Diperoleh persamaan antar kedua variabel pada tahun 1993 adalah $y = 0,0445x - 1,177$, tahun 2007 adalah $y = 0,04x - 1,1$, dan tahun 2021 adalah $y = -0,5772x + 0,0524$. Dari persamaan tersebut diketahui bahwa peningkatan kepadatan bangunan sebesar 1% akan meningkatkan suhu permukaan sebesar 0,0445 °C, 0,04 °C, dan 0,0324 °C dari tahun 1993, 2007, dan 2021. Hal ini menunjukkan bahwa RTH yang berada di sekitar daerah terbangun lainnya berguna untuk menyerap CO² dan memiliki dampak terhadap penurunan UHI (Colunga *et al.*, 2015; Wang & Akbari, 2016; Aldiansyah & Tambunan, 2021; Liong, 2021).

Uji statistik juga menunjukkan adanya korelasi antara peningkatan suhu permukaan dengan kerapatan vegetasi yang mengalami tren meningkat dari 1993-2021 (Tabel 6-8). Diperoleh persamaan antar kedua variabel pada tahun 1993 adalah $y = 0,0005x - 0,017$, tahun 2007 adalah $y = 0,0081x - 0,4464$, dan tahun 2021 adalah $y = -0,017x + 0,6941$. Peningkatan tutupan vegetasi sebesar <0,05% akan menurunkan suhu permukaan sebesar masing-masing 0,0005 °C, 0,0081 °C, dan 0,017 °C dari tahun 1993, 2007, dan 2021. Hal ini menunjukkan bahwa kerapatan vegetasi dapat menekan peningkatan suhu permukaan tanah. Sejalan dengan Sarif *et al.*

(2020) bahwa keberadaan tutupan vegetasi dapat menurunkan suhu permukaan dan sebaliknya.

Tabel 7. Korelasi R² antara LST, NDVI, NDBI, dan MNDWI tahun 1993

	LST	NDVI	NDBI	MNDWI
LST	1			
NDVI	0.0007	1		
NDBI	0.5822	0.0080	1	
MNDWI	0.6695	0.0821	0.7547	1

Sumber: Analisis Data, 2022

Tabel 8. Korelasi R² antara LST, NDVI, NDBI, dan MNDWI tahun 2007

	LST	NDVI	NDBI	MNDWI
LST	1			
NDVI	0.0122	1		
NDBI	0.4956	0.0829	1	
MNDWI	0.499	0.0821	0.6328	1

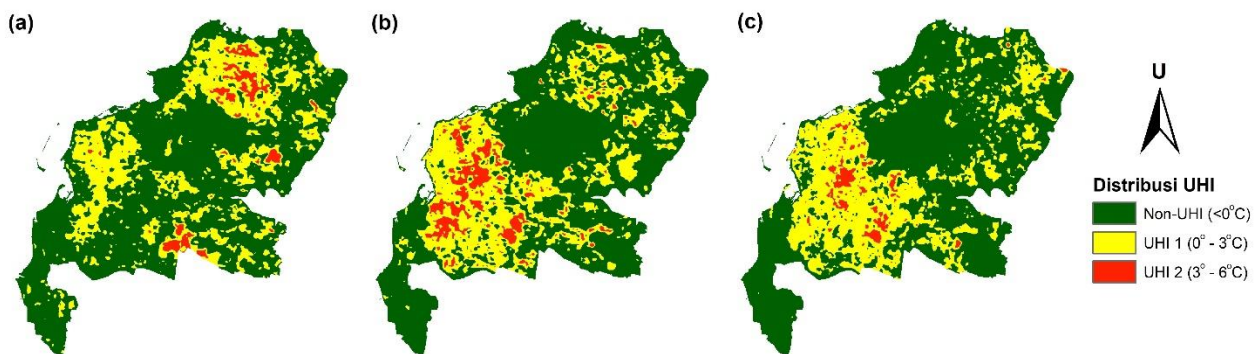
Sumber: Analisis Data, 2022

Tabel 9. Korelasi R² antara LST, NDVI, NDBI, dan MNDWI tahun 2021

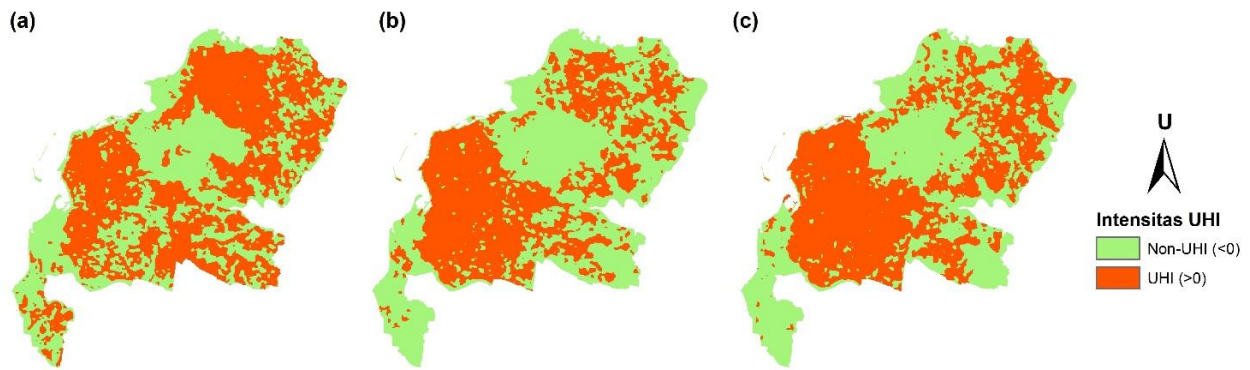
	LST	NDVI	NDBI	MNDWI
LST	1			
NDVI	0.0567	1		
NDBI	0.3398	0.5513	1	
MNDWI	0.4406	0.0006	0.4439	1

Sumber: Analisis Data, 2022

Penelitian ini juga menemukan bahwa peningkatan kawasan terbangun akan menurunkan tingkat kelembasan dan suhu muka air suatu wilayah. Secara berturut-turut suhu air permukaan turun dari 0,0682 – 0,0319 °C untuk setiap peningkatan kerapatan bangunan 1 - 2%. Dampak fenomena perubahan iklim global seperti UHI dapat menyebabkan suhu permukaan tanah mengalami peningkatan lebih cepat daripada suhu permukaan laut (Syaifullah, 2015).



Gambar 6. Distribusi UHI; (a) 1993; (b) 2007; (c) 2021.



Gambar 7. Intensitas UHI; (a) 1993; (b) 2007; (c) 2021

Hasil Intensitas UHI pada penelitian ini dikelompokkan menjadi dua kelas (Tabel 2) yaitu UHI dan daerah sekitar perkotaan. Pola yang dihasilkan pada intensitas UHI berbeda dengan pola distribusi UHI. Distribusi UHI hanya merepresentasikan fenomena UHI yang terjadi, berbeda dengan Intensitas UHI yang lebih menunjukkan kondisi fenomena UHI akibat perubahan tutupan lahan terutama area terbangun dan lahan terbuka. Intensitas UHI ≥ 0 menunjukkan daerah tersebut memiliki potensi terjadinya UHI, sedangkan nilai UHI < 0 tidak memiliki potensi untuk terjadinya fenomena UHI.

Pola yang dihasilkan oleh intensitas UHI cenderung bervariasi. Pada tahun 1993-2007 wilayah yang terdampak UHI akibat perubahan tutupan lahan menurun hingga 14 km², kemudian di tahun 2021 kembali meningkat seluas 9,67 km² (Tabel 10). Hal ini berbanding lurus dengan penurunan wilayah yang tidak berpotensi mengalami UHI. Hal ini menunjukkan bahwa proporsi perbandingan wilayah berpotensi mengalami UHI lebih besar daripada wilayah yang tidak berpotensi mengalami UHI. Intensitas Suhu UHI yang terjadi di tahun 1993-2007 sebesar 2°C, sedangkan dari tahun 2007-2021 meningkat dua kali lipat yaitu sebesar 4 °C. Sejalan dengan Bonafoni *et al.* (2017) bahwa peningkatan intensitas UHI sebesar 2 °C pada wilayah perkotaan.

Tabel 10. Luas Intensitas UHI (Km²)

Kelas	1993	2007	2021
Non-UHI	80.98	94.98	85.31
UHI	95.43	81.43	91.10

Sumber: Analisis Data, 2022

4. KESIMPULAN

Perkembangan wilayah yang terdampak UHI di Kota Makassar mengalami tren yang konstan dan meningkat di ke sisi tengah wilayah. Hasil distribusi UHI pada tahun 1993, 2007, 2021 menunjukkan adanya korelasi yang positif terhadap persebaran area terbangun. Sedangkan intensitas UHI menunjukkan peningkatan hingga 4 °C. Peningkatan tersebut membuktikan bahwa terdapat lokasi UHI dalam kurun waktu tersebut

yang diikuti oleh pola perubahan sebaran area terbangun yang serupa. Tutupan lahan vegetasi dan lahan terbuka terkonversi menjadi area terbangun hingga seluas 45,68 km² di tahun 2021. Uji korelasi menunjukkan terdapat korelasi yang kuat dan konsisten antara suhu permukaan dan kerapatan bangunan dari tahun 1993-2021. Area terbangun dan lahan terbuka memiliki suhu yang lebih panas 1 - 3 °C dibandingkan tutupan lahan lain. Setiap peningkatan area terbangun sebesar 1% akan meningkatkan suhu udara rata-rata hingga 0,039 °C. Sedangkan setiap peningkatan tutupan vegetasi sebesar < 0,05% hanya akan menurunkan suhu sebesar 0,0085 °C. Hal ini berarti tutupan vegetasi tidak mampu mengimbangi peningkatan suhu permukaan di Kota Makassar.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adulkongkaew, T., Satapanajaru, T., Charoenhirunyingyos, S., & Singhirunnusorn, W. (2020). Effect of land cover composition and building configuration on land surface temperature in an urban-sprawl city, case study in Bangkok Metropolitan Area, Thailand. *Heliyon*, 6(8), e04485. DOI:10.1016/j.heliyon.2020.e04485.
- Aldiansyah, S. & Tambunan. M. P. (2021). Evaluation of RTH In Regional Spatial Plan with NDVI In Kendari City. *Tunas Geografi*, 10(1), 53-60. DOI:10.24114/tgeo.v10i1.27472.
- Alobaydi, D., Bakarman, M. A., & Obeidat, B. (2016). The impact of urban form configuration on the urban heat island: the case study of Baghdad, Iraq. *Procedia Engineering*, 145, 820-827. DOI:10.1016/j.proeng.2016.04.107
- Artis, D. A., & Carnahan, W. H. (1982). Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 12(4), 313-329. DOI:10.1016/0034-4257(82)90043-8
- Ashari, A. F., & Maryana. D. (2022). Spatial Analysis of Land Use Changes and The Affecting Factors (Case Study of Makassar

- City 2011-2019). *Jurnal Ecosolum*, 10(2), 70-81.
DOI:10.20956/ecosolum.v10i2.18059
- Ashraf, M., & Nawaz, R. (2015). A comparison of change detection analyses using different band algebras for baraila wetland with Nasa's multi-temporal Landsat dataset. *Journal of Geographic Information System*, 7(01), 1. DOI:10.4236/jgis.2015.71001.
- Bonafoni, S., Baldinelli, G., & Verducci, P. (2017). Sustainable strategies for smart cities: Analysis of the town development effect on surface urban heat island through remote sensing methodologies. *Sustainable Cities and Society*, 29, 211-218. DOI:10.1016/j.scs.2016.11.005.
- Badan Pusat Statistik. (2022). Kota Makassar Dalam Angka 2022. Tanggal 16 Agustus 2023 Pukul 10.38 WITA. (<https://makassarkota.bps.go.id/publication>)
- Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modeling (Ed), *Modern Methods for Business Research*, pp. 295-336. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Colunga, M. L., Cambrón-Sandoval, V. H., Suzán-Azpiri, H., Guevara-Escobar, A., & Luna-Soria, H. (2015). The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Querétaro city, Mexico. *Atmósfera*, 28(3), 205-218. DOI: 10.20937/ATM.2015.28.03.05.
- Congalton, R. G. & Green, K (2008). *Assessing The Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. Mapping Science. Boca Rotan FL, CRC Press.
- Delarizka, A., Sasmito, B., & Hani'ah. (2016). Analisis Fenomena Pulau Bahang (Urban Heat Island) di Kota Semarang berdasarkan Hubungan antara Perubahan Tutupan Lahan dengan Suhu Permukaan menggunakan Citra Multi Temporal Landsat. *Geodesi Undip*, 5(4), 165-177. Retrieved from <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/13935>.
- Dutta, D., Rahman, A., Paul, S. K., & Kundu, A. (2021). Impervious surface growth and its inter-relationship with vegetation cover and land surface temperature in peri-urban areas of Delhi. *Urban Climate*, 37, 100799. DOI:10.1016/j.uclim.2021.100799.
- Estoque, R. C., Murayama, Y., & Myint, S. W. (2017). Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of the Total Environment*, 577, 349-359. DOI:10.1016/j.scitotenv.2016.10.195.
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., Nazmfar, H., Akbari, E., & Kohbanani, H. R. (2013). Monitoring land surface temperature relationship to land use/land cover from satellite imagery in Maraqeh County, Iran. *Journal of Environmental Planning and Management*, 56(9), 1290-1315. DOI:10.1080/09640568.2012.717888.
- Fawzi, N. I. (2017). Mengukur urban heat island menggunakan penginderaan jauh, kasus di Kota Yogyakarta. *Majalah Ilmiah Globe*, 19(2), 195-206..
- Grimm N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J.M. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319 (5864) 756-760. DOI:10.1126/science.1150195.
- Kikon, N., Singh, P., Singh, S. K., & Vyas, A. (2016). Assessment of urban heat islands (UHI) of Noida City, India using multi-temporal satellite data. *Sustainable Cities and Society*, 22, 19-28. DOI:10.1016/j.scs.2016.01.005.
- Kurnianti, R. (2020). Ketersediaan ruang terbuka hijau dan urban heat island di Kota Makassar. *Jurnal Litbang Sukowati: Media Penelitian dan Pengembangan*, 3(2), 14-14. DOI:10.32630/sukowati.v3i2.78
- Li, X., Zhou, Y., Asrar, G. R., Imhoff, M., & Li, X. (2017). The surface urban heat island response to urban expansion: A panel analysis for the conterminous United States. *Science of the Total Environment*, 605, 426-435. DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.06.229
- Liong, A.S. (2021). Perencanaan Ruang Terbuka Hijau untuk Mengurangi Fenomena Urban Heat Island di Kota Makassar. Tesis. Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Ma, Y., Kuang, Y., & Huang, N. (2010). Coupling urbanization analyses for studying urban thermal environment and its interplay with biophysical parameters based on TM/ETM+ imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(2), 110-118. DOI:10.1016/j.jag.2009.12.002
- Maru, R. (2017). Perkembangan Fenomena Urban Heat Island. Simposium Nasional MIPA Universitas Negeri Makassar. Makassar.
- Maru, R., Baharuddin, I. I., Zhiddiq, S., Arfan, A., & Bayudin, B. (2015). Trend Analysis of Urban Heat Island Phenomenon in the City of Makassar, South Sulawesi, Indonesia using Landsat. *Asian Journal of Applied Sciences*, 3(5), 477-484.
- Mujahid, L. M. A., Natalia, V. V., & Akrim, A. A. D. (2023). Pengaruh Urban Heat Island Terhadap Aktivitas Fisik di Kota Makassar. *Jurnal Linears*, 6(1), 11-21. DOI:10.26618/j-linears.v6i1.9021
- [NASA] National Aeronautics and Space Administration. (2013). Landsat Data Continuity Mission Brochure. (www.nasa.gov).

- Oke, T. R. (2002). *Boundary Layer Climates* (2nd Editio). Taylor & Francis. DOI:10.4324/9780203407219.
- Phan, T. N., Kuch, V., & Lehnert, L. W. (2020). Land Cover Classification using Google Earth Engine and Random Forest Classifier—The Role of Image Composition. *Remote Sensing*, 12(15), 2411. DOI:10.3390/rs12152411
- Pinho, O. S., & Orgaz, M. D. M. (2000). The urban heat island in a small city in coastal Portugal. *In International journal of biometeorology* (Vol. 44). DOI:10.1007/s004840000063.
- Qaid, A., Lamit, H. B., Ossen, D. R., & Shahminan, R. N. R. (2016). Urban heat island and thermal comfort conditions at micro-climate scale in a tropical planned city. *Energy and Buildings*, 133, 577-595. DOI:10.1016/j.enbuild.2016.10.006
- Rajasekar, U., & Weng, Q. (2009). Spatio-temporal modelling and analysis of urban heat islands by using Landsat TM and ETM+ imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 30(13), 3531-3548. DOI:10.1080/01431160802562289
- Roth, M., Oke, T. R., & Emery, W. J. (1989). Satellite-derived Urban Heat Island from Three Coastal Cities and The Utilization of such Data in Urban Climatology. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 10(11), 1699–1720. DOI:10.1080/01431168908904002
- Rozenstein, O., Qin, Z., Derimian, Y., & Karnieli, A. (2014). Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm. *Sensors*, 14(4), 5768-5780. DOI:10.3390/s140405768.
- Sarif, M. O., Rimal, B., & Stork, N. E. (2020). Assessment of changes in land use/land cover and land surface temperatures and their impact on surface urban heat island phenomena in the Kathmandu Valley (1988–2018). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(12), 726. DOI:10.3390/ijgi9120726.
- Sarwono, J. (2006). *Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sultana, S., & Satyanarayana, A. N. V. (2018). Urban heat island intensity during winter over metropolitan cities of India using remote-sensing techniques: Impact of urbanization. *International journal of remote sensing*, 39(20), 6692-6730. DOI:10.1080/01431161.2018.1466072
- Surya, B., Salim, A., Hernita, H., Suriani, S., Menne, F., & Rasyidi, E. S. (2021). Land Use Change, Urban Agglomeration, and Urban Sprawl: A Sustainable Development Perspective of Makassar City, Indonesia. *Land*, 10(6), 556. DOI:10.3390/land10060556
- Syaifullah, M. D. (2015). Suhu Permukaan Laut Perairan Indonesia dan Hubungannya dengan Pemanasan Global. *Jurnal Segara*, 11(2), 103-113.
- Tsou, J., Zhuang, J., Li, Y., & Zhang, Y. (2017). Urban heat island assessment using the Landsat 8 data: a case study in Shenzhen and Hong Kong. *Urban Science*, 1(1), 10. DOI:10.3390/urbansci1010010.
- [USGS] United States Geological Survey. (2018). *LANDSAT 7 (L7) Data Users Handbook*.
- Voogt, J. A. (2002). *Urban heat island: Causes and consequences of global environmental change*. John Wiley and Sons, Ltd. Chichester.660-666pp.
- Wang, Y., & Akbari, H. (2016). The effects of street tree planting on Urban Heat Island mitigation in Montreal. *Sustainable Cities and Society*, 27, 122-128. DOI:10.1016/j.scs.2016.04.013.
- Wang, J., Zhou, W., Pickett, S. T., Yu, W., & Li, W. (2019). A multiscale analysis of urbanization effects on ecosystem services supply in an urban megaregion. *Science of The Total Environment*, 662, 824-833. DOI:10.1016/j.scitotenv.2019.01.260
- Xu, L. Y., Xie, X. D., & Li, S. (2013). Correlation analysis of the urban heat island effect and the spatial and temporal distribution of atmospheric particulates using TM images in Beijing. *Environmental Pollution*, 178, 102-114. DOI:10.1016/j.envpol.2013.03.006