

ANALISIS POLA PERUBAHAN DAN KORELASI LST DENGAN NDVI DAN NDWI BERDASARKAN CITRA MODIS TAHUN 2003–2024 (Studi Kasus: Kota Palangkaraya)

MUHAMMAD FAIZA ABDURRAHMAN DAN SONI DARMAWAN

Institut Teknologi Nasional Bandung
Email: muhammad.faiza@mhs.itenas.ac.id

ABSTRAK

Urbanisasi yang pesat dan dinamika tutupan lahan yang cepat telah mengubah lingkungan perkotaan menjadi lahan terbangun yang cenderung menyerap panas, yang mana dapat memicu munculnya fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Fenomena ini, bersama dengan berkurangnya Ruang Terbuka Hijau (RTH), dapat menimbulkan berbagai dampak negatif lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola perubahan dan korelasi LST dengan NDVI dan NDWI dari tahun 2003–2024 dengan memanfaatkan data MODIS dan aplikasi Google Earth Engine. Penelitian ini memanfaatkan *dataset Land Surface Temperature* (LST), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), dan *Normalized Difference Water Index* (NDWI) 8-harian dari citra satelit MODIS untuk periode 2003–2024. Data diekstraksi dan diproses menjadi nilai rata-rata tahunan menggunakan platform Google Earth Engine (GEE) sesuai dengan batas administrasi area studi. Selanjutnya, analisis dilakukan melalui visualisasi *time series*, peta sebaran, dan *Scatter plot* korelasi untuk mengidentifikasi pola perubahan dan hubungan antar variabel. Hasil analisis menunjukkan tren kenaikan LST di Kota Palangkaraya sebesar $(0,3^{\circ}\text{C})$. Dinamika perubahan NDVI di Kota Palangkaraya mengalami tren penurunan sebesar $(-0,02)$. Dinamika perubahan NDWI di Kota Palangkaraya mengalami tren penurunan sebesar $(-0,002)$. Korelasi LST-NDVI pada Kota Palangkaraya ($r = -0,54$) menunjukkan korelasi negatif yang sedang. Sedangkan korelasi LST-NDWI pada Kota Palangkaraya ($r = -0,87$) menunjukkan korelasi negatif yang sangat kuat.

Kata Kunci: *Land Surface Temperature, Normalized Difference Vegetation Index, Normalized Difference Water Index, time series, Google Earth Engine, Statistik*

1. PENDAHULUAN

Urbanisasi yang pesat meningkatkan populasi kota, memicu persaingan lahan yang terbatas, mengabaikan Ruang Terbuka Hijau (RTH) demi bangunan, dan mengancam keseimbangan ekosistem kota berkelanjutan (Rustiadi, 2018). Berkurangnya vegetasi dalam suatu wilayah dapat memicu berbagai dampak negatif, seperti kekeringan, banjir dan longsor, penurunan kesuburan tanah, erosi, dan bahkan berkontribusi terhadap perubahan iklim global (Julianto dkk., 2021). Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) terjadi ketika suhu permukaan di daerah perkotaan lebih tinggi daripada daerah sekitarnya yang kurang padat bangunan dan memiliki lebih banyak vegetasi (Akrim., 2023). Fenomena *Urban Heat Island* biasanya terjadi karena minimnya tutupan lahan hijau dan banyaknya infrastruktur yang menyerap panas, seperti aspal,

gedung, dan kawasan industri (Ally dkk., 2024). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wachid dan Tyas, (2022), korelasi antara *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Land Surface Temperature* (LST) pada dua tahun pengamatan di Kota Semarang menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi memiliki korelasi yang sangat kuat. Hasil persamaannya bernilai negatif, yang berarti semakin tinggi indeks vegetasi maka suhu permukaan tanah semakin rendah, dan sebaliknya. Selain itu, Mau dkk, (2024) menunjukkan adanya korelasi signifikan antara LST dan *Normalized Difference Water Index* (NDWI) dalam menentukan tingkat kekeringan lahan. Peningkatan LST umumnya diikuti penurunan NDWI, yang mengindikasikan kondisi kekeringan. Hal ini menunjukkan bahwa ketersediaan air juga berpengaruh terhadap suhu permukaan tanah.

Penelitian ini memiliki beberapa perbedaan utama dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya yang berfokus pada kota-kota di Indonesia. Pertama, penelitian ini secara khusus akan menganalisis pola perubahan dan korelasi antara *Land Surface Temperature* (LST) dengan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Normalized Difference Water Index* (NDWI) secara bersamaan Kota Palangkaraya. Kota ini menawarkan kompleksitas ekosistem yang unik, di mana terjadi interaksi antara wilayah perkotaan, hutan gambut, dan lahan basah. Karakteristik ini menjadikannya studi kasus ideal untuk memahami bagaimana perubahan tutupan lahan memengaruhi suhu permukaan, kesehatan vegetasi, dan kandungan air. Kedua, penelitian ini akan memanfaatkan citra MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), citra satelit yang diperoleh dari sensor MODIS pada satelit Terra dan Aqua milik NASA yang mengamati berbagai aspek Bumi setiap 1-2 hari dengan 36 *band* dan resolusi spasial 250-1000 meter (Prahasta, 2008). Serta aplikasi Google Earth Engine (GEE) platform berbasis cloud yang mempermudah akses ke sumber daya komputasi berkinerja tinggi untuk memproses kumpulan data geospasial yang sangat besar, tanpa memerlukan perangkat keras dan perangkat lunak yang rumit dan mahal (Gorelick dkk., 2017). Selain itu, tidak diperlukan komputer dengan spesifikasi tinggi untuk menganalisis data spasial seperti perangkat lunak SIG lainnya karena pemrosesan data berjalan di *cloud* dan secara paralel di server Google (Gorelick dkk., 2017). Penggunaan citra MODIS dan GEE memungkinkan penelitian ini untuk memproses data dalam jumlah besar dan melakukan analisis yang rumit dengan lebih efisien di berbagai wilayah perkotaan. Terakhir, penelitian ini mencakup rentang waktu yang lebih panjang, dari tahun 2003 hingga 2024, di kelima kota tersebut. Rentang waktu ini memungkinkan identifikasi tren perubahan LST, NDVI, dan NDWI serta pemahaman bagaimana faktor-faktor seperti pertumbuhan perkotaan dan perubahan jumlah vegetasi dan ketersediaan air dari waktu ke waktu di berbagai konteks perkotaan.

Penelitian ini berfokus pada analisis pola perubahan dan korelasi LST dengan NDVI dan NDWI di Kota Palangkaraya. Pemilihan kota ini didasarkan pada karakteristik geografis, iklim, dan tingkat urbanisasi di kota tersebut. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menganalisis pola perubahan dan korelasi LST dengan NDVI dan NDWI dari waktu ke waktu dan mengkaji faktor-faktor yang memengaruhi perubahan tersebut serta mengetahui bagaimana perubahan suhu permukaan berhubungan dengan perubahan kerapatan dan kandungan air pada vegetasi.

2. METODE

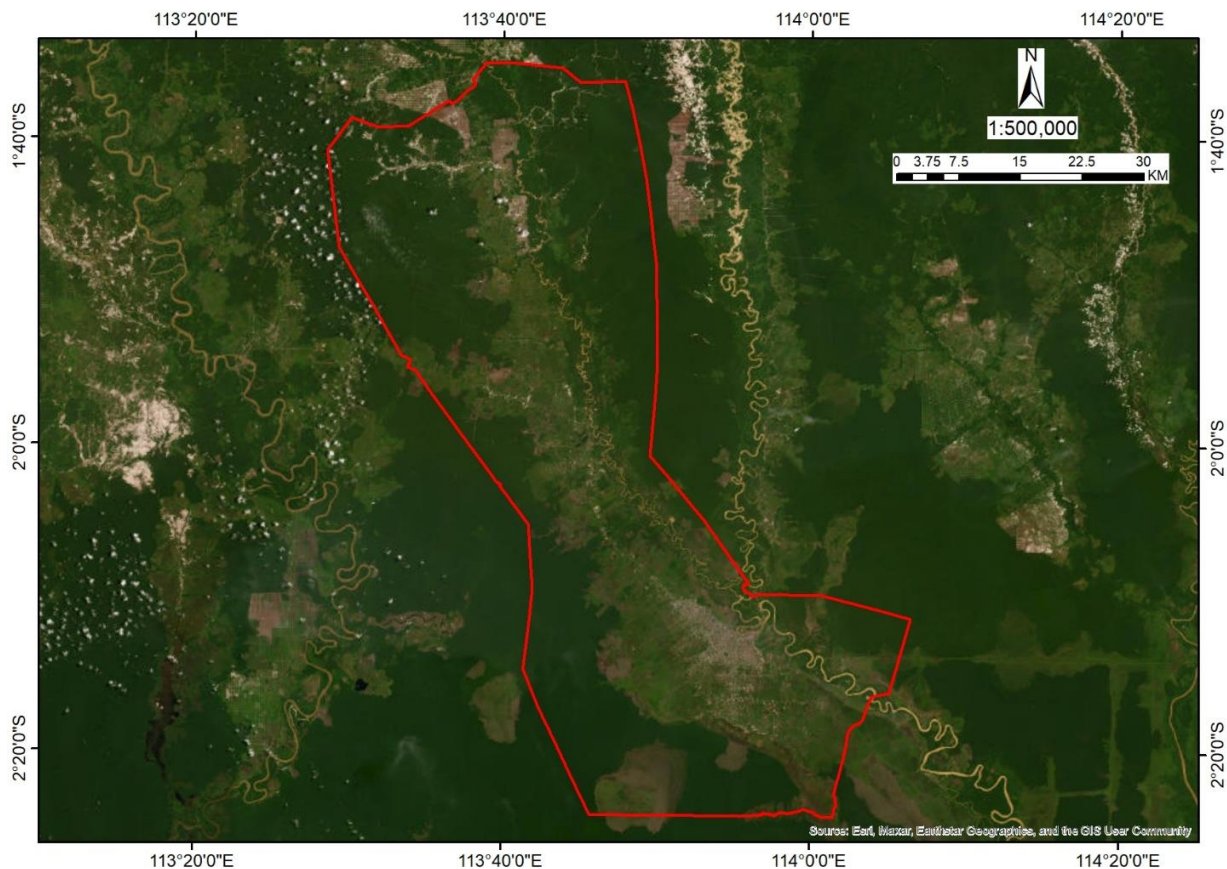
2.1 Data dan Bahan

Berikut merupakan data dan peralatan yang digunakan selama melaksanakan penelitian dan penyusunan laporan ini sebagai berikut:

1. Data yang akan digunakan diantaranya:
 - a. MODIS Land Surface Temperature and Emissivity 8-Day Global 1km tahun 2003–2024
 - b. MODIS Terra Surface Reflectance 8-Day Global 500m tahun 2003–2024
 - c. Batas daerah administrasi area studi (.shp) Ina-Geoportal
2. Peralatan yang akan digunakan diantaranya;
 - a. Laptop
 - b. Platform Google Earth Engine (GEE)
 - c. *Software* Microsoft Excel

2.2 Lokasi Penelitian

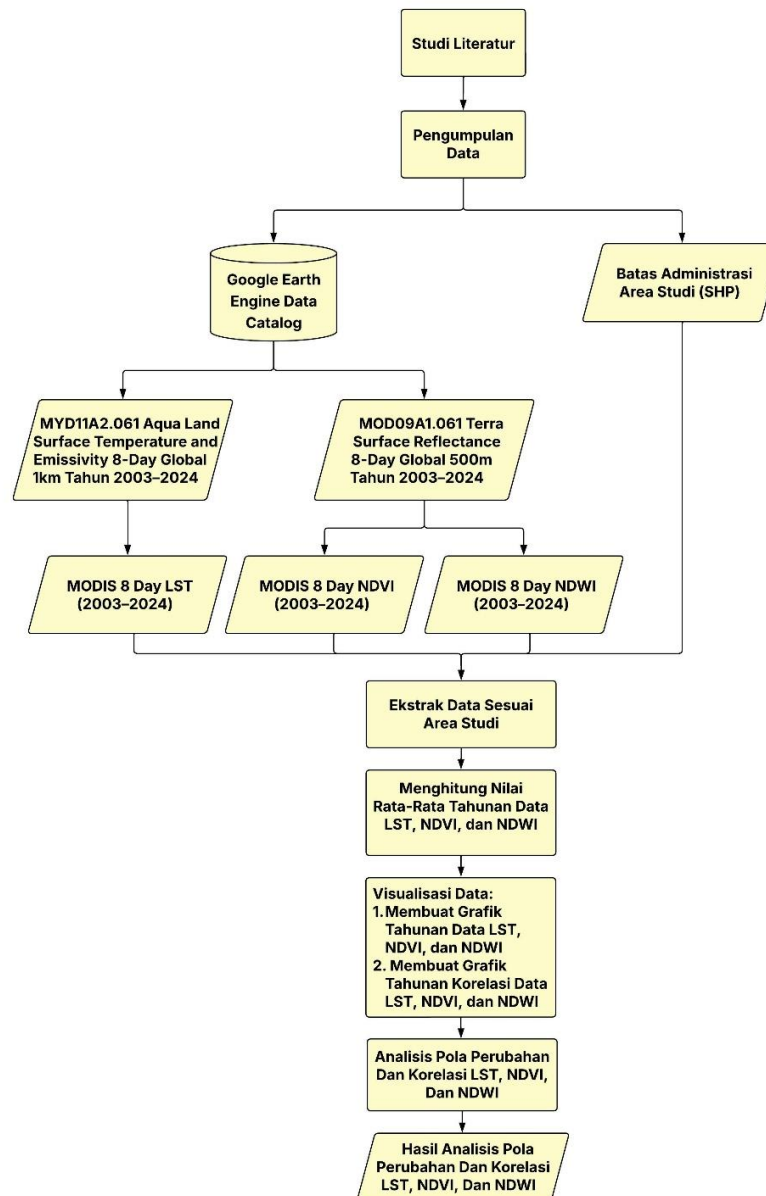
Lokasi penelitian berada di Kota Palangkaraya. Kota ini menawarkan kompleksitas ekosistem yang unik, di mana terjadi interaksi antara wilayah perkotaan, hutan gambut, dan lahan basah. Karakteristik ini menjadikannya studi kasus ideal untuk memahami bagaimana perubahan tutupan lahan memengaruhi suhu permukaan, kesehatan vegetasi, dan kandungan air. Selain itu, Palangkaraya sering menjadi pusat perhatian akibat isu lingkungan yang menyebabkan perubahan drastis pada ketiga parameter tersebut. Ketersediaan data historis yang panjang memungkinkan untuk mengidentifikasi tren dan pola yang signifikan, sehingga hasil penelitian ini akan memberikan wawasan berharga bagi pemerintah daerah dan masyarakat dalam perencanaan tata ruang yang lebih berkelanjutan.



Gambar 1. Peta area studi Kota Palangkaraya

2.3 Metode

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data batas administrasi area studi dalam format shapefile (.shp). Selanjutnya, data *Land Surface Temperature* (LST), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), dan *Normalized Difference Water Index* (NDWI) dari citra MODIS dikumpulkan melalui *query* menggunakan *script code* di Google Earth Engine (GEE) untuk memperoleh nilai statistik rata-rata tahunan. Nilai rata-rata tahunan tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk bagan dinamika untuk mengidentifikasi pola perubahan temporal. Terakhir, dilakukan analisis korelasi antara LST dengan NDVI dan NDWI untuk mengkaji seberapa besar hubungan atau pengaruh LST terhadap kedua indeks tersebut di setiap area studi.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Land Surface Temperature (LST) merupakan salah satu parameter kunci yang digunakan untuk mempelajari perubahan iklim mikro dan interaksi yang sangat kompleks antara permukaan bumi dan atmosfer (Qin dkk., 2015). LST mencakup emisi radiasi termal dari komponen-komponen permukaan bumi seperti tanah, vegetasi, air, dan struktur buatan manusia (Qin dkk., 2015). Untuk mendapatkan nilai LST dari citra MODIS, Algoritma *Generalized Split-Window* merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan. Algoritma ini dirancang khusus untuk mengestimasi LST pada jenis tutupan lahan dengan karakteristik emisivitas spektral yang stabil pada *band-band* inframerah termal. Prinsip dasarnya adalah dengan memanfaatkan perbedaan penyerapan atmosferik antara dua *band* termal yang berdekatan dalam satu jendela atmosferik,

seperti MODIS *Band* 31 (sekitar 11 μm) dan *Band* 32 (sekitar 12 μm) (Wan, 1999). Rumus untuk Algoritma *Generalized Split-Window* adalah sebagai berikut:

$$LST = C0 + C1T31 + C2T32 + (C3 + C4W)(T31 - T32) + (C5 + C6W)(T31 - T32)^2 \quad (1)$$

Keterangan:

- LST: *Land Surface Temperature* Kelvin (K).
- T31: *Brightness Temperature* dari MODIS *Band* 31 (sekitar 11 μm) Kelvin (K).
- T32: *Brightness Temperature* dari MODIS *Band* 32 (sekitar 12 μm) Kelvin (K).
- W: Kandungan uap air kolom total di atmosfer (g/cm^2).
- C0, C1, C2, C3, C4, C5, C6: Merupakan koefisien algoritma yang sudah ditentukan sebelumnya. Koefisien ini tidak statis, melainkan bervariasi tergantung pada kondisi atmosfer (profil suhu dan kelembaban udara) serta sudut pandang satelit. Koefisien-koefisien ini biasanya disimpan dalam *Look-Up Tables* (LUT) yang dihasilkan dari simulasi model transfer radiatif atmosfer yang ekstensif.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan indeks vegetasi yang umumnya digunakan dalam pemantauan kondisi vegetasi dengan menggunakan data penginderaan jauh (Rouse dkk., 1974). NDVI berfungsi untuk mengukur tingkat kehijauan dan kesehatan tutupan vegetasi dengan menganalisis respons spektral tanaman, vegetasi yang sehat menunjukkan pantulan tinggi pada panjang gelombang *Near-Infrared* (NIR) dan penyerapan kuat pada panjang gelombang merah (*red*) oleh klorofil (Rouse dkk., 1974). NDVI dihitung menggunakan rumus:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (2)$$

Keterangan:

- NIR: Nilai reflektansi spektral pada *band* Inframerah Dekat (*Near-Infrared*). Vegetasi sehat memantulkan banyak energi di *band* ini.
- RED: Nilai reflektansi spektral pada *band* Merah (*Red*). Vegetasi sehat menyerap banyak energi di *band* ini untuk fotosintesis.

Normalized Difference Water Index (NDWI) merupakan indeks berbasis penginderaan jauh yang berfungsi untuk mengidentifikasi kandungan air pada vegetasi dan permukaan tanah (McFeeters, 1996). Indeks ini, yang secara spesifik diformulasikan oleh Gao, (1996) menggunakan *band Near-Infrared* (NIR) dan *Shortwave Infrared* (SWIR), dirancang untuk mengoptimalkan pantulan oleh air sekaligus meminimalkan pantulan dari tanah dan vegetasi. Formula NDWI (Gao, 1996) adalah sebagai berikut:

$$NDWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (3)$$

Keterangan:

- NIR adalah nilai reflektansi pada spektrum inframerah dekat (biasanya pada panjang gelombang sekitar 0,8 μm).

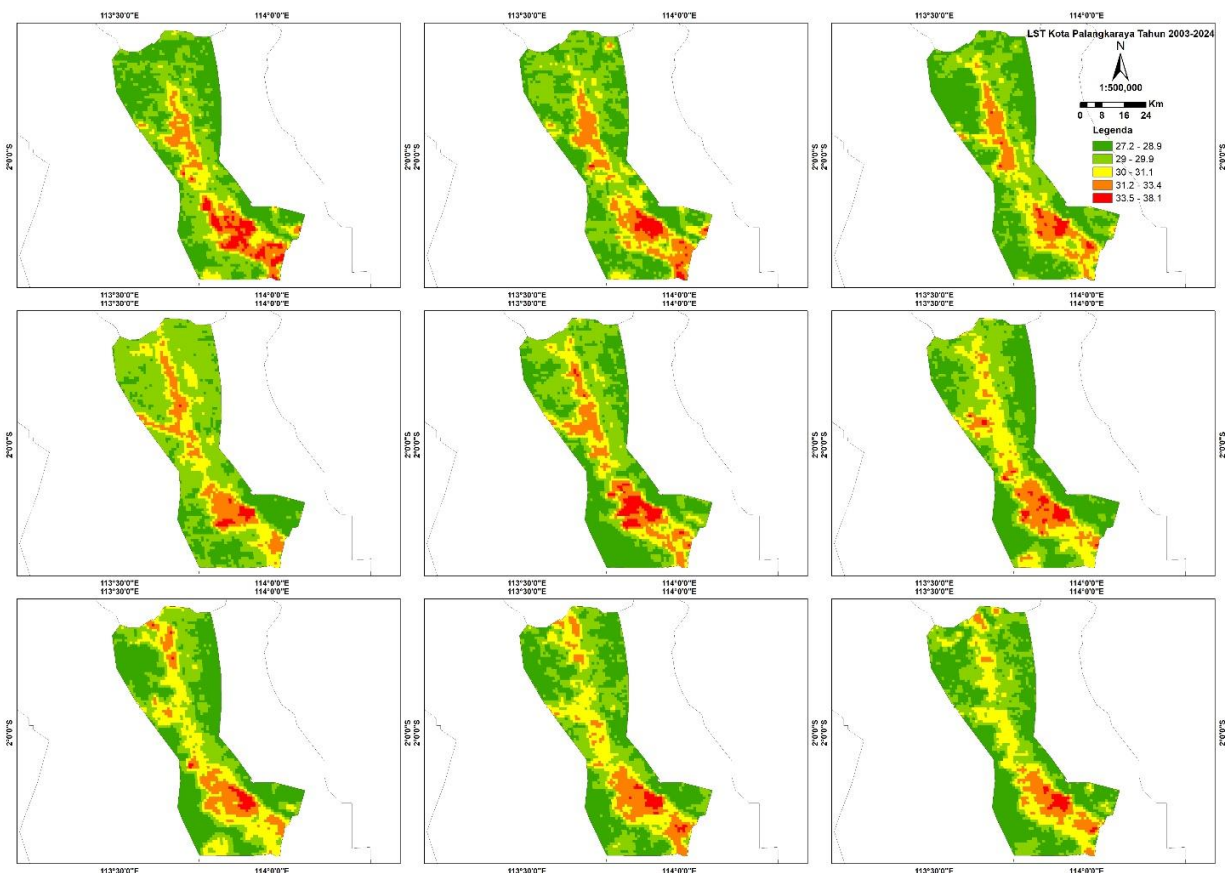
- SWIR adalah nilai reflektansi pada spektrum inframerah gelombang pendek (biasanya pada panjang gelombang sekitar 1.6 μm).

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini dihimpun untuk memfokuskan analisis. Pengumpulan data diawali dengan pengunduhan data eksternal berupa batas administrasi area studi dalam format shapefile (.shp) dari *website* InaGeoportal, yang kemudian diimpor ke dalam proyek Google Earth Engine (GEE). Data yang telah diperoleh dalam proyek tersebut kemudian difilter berdasarkan batas administrasi area studi serta rentang waktu dari tahun 2003 hingga 2024. Selanjutnya, data perubahan dan korelasi LST dengan NDVI dan NDWI dari sensor MODIS diperoleh melalui *query* menggunakan *script code* di GEE. Hasil yang didapatkan berupa data 8 harian, grafik perubahan, dan korelasi LST dengan NDVI dan NDWI.

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Dinamika LST

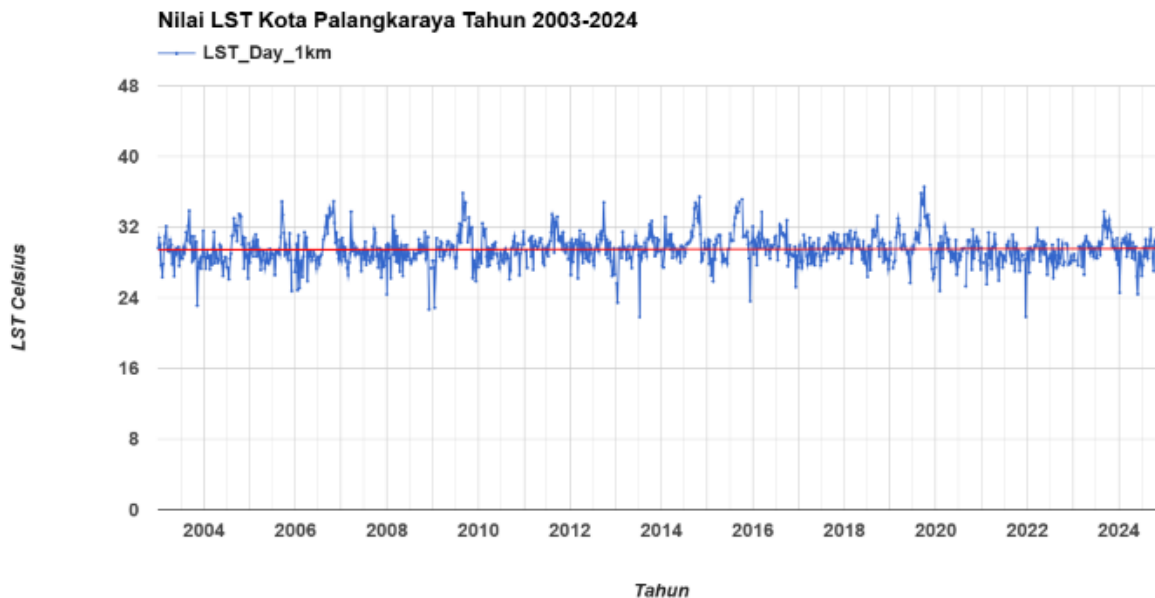
Sebaran LST secara spasial dari Kota Palangkaraya dari tahun 2003–2024 dapat dilihat di Gambar 3. Suhu tertinggi digambarkan dengan menggunakan warna merah, suhu sedang digambarkan dengan warna kuning, dan suhu terendah digambarkan dengan warna hijau tua.



Gambar 3. Peta sebaran LST di Kota Palangkaraya

Berdasarkan Gambar 3 sebaran LST di Kota Palangkaraya di dominasi dengan kelas suhu yang rendah dan suhu tertinggi berpusat di tengah kota.

Hasil dari komputasi dinamika rata-rata tahunan LST di Kota Palangkaraya disajikan pada Gambar 4.

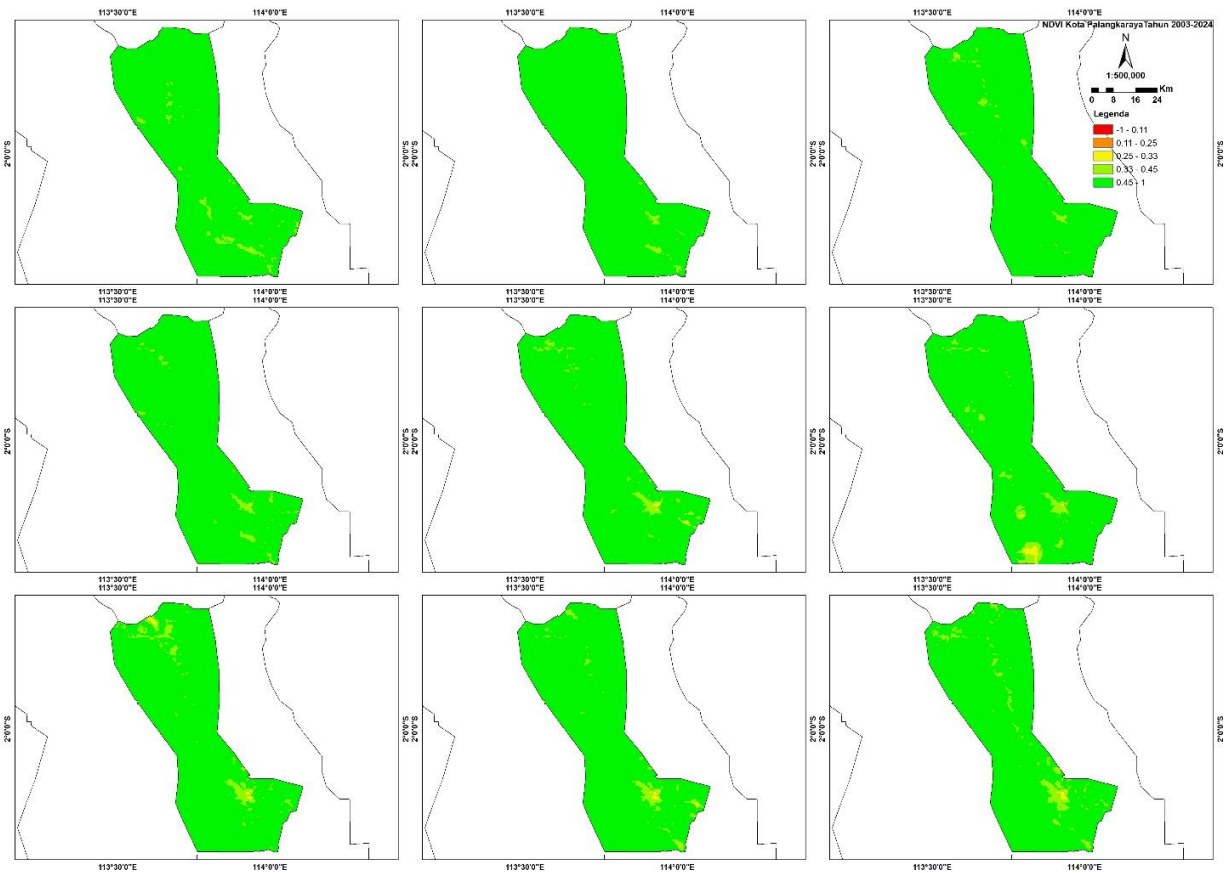


Gambar 4. Grafik dinamika 8 harian LST Kota Palangkaraya

Gambar 4 menunjukkan grafik dinamika 8 harian LST Kota Palangkaraya selama periode 2003 hingga 2024, dengan rentang nilai terendah 28,8°C pada tahun 2021, tertinggi di angka 30,1°C pada tahun 2011 dan 2019, serta rata-rata 29,5°C. Garis tren pada grafik mengindikasikan adanya kecenderungan sedikit peningkatan LST. Dinamika nilai tahunan LST di area studi memperlihatkan kenaikan paling signifikan sebesar 1,0°C dari tahun 2010 ke 2011, dan penurunan paling signifikan sebesar 0,7°C dari tahun 2020 ke 2021.

3.2 Dinamika NDVI

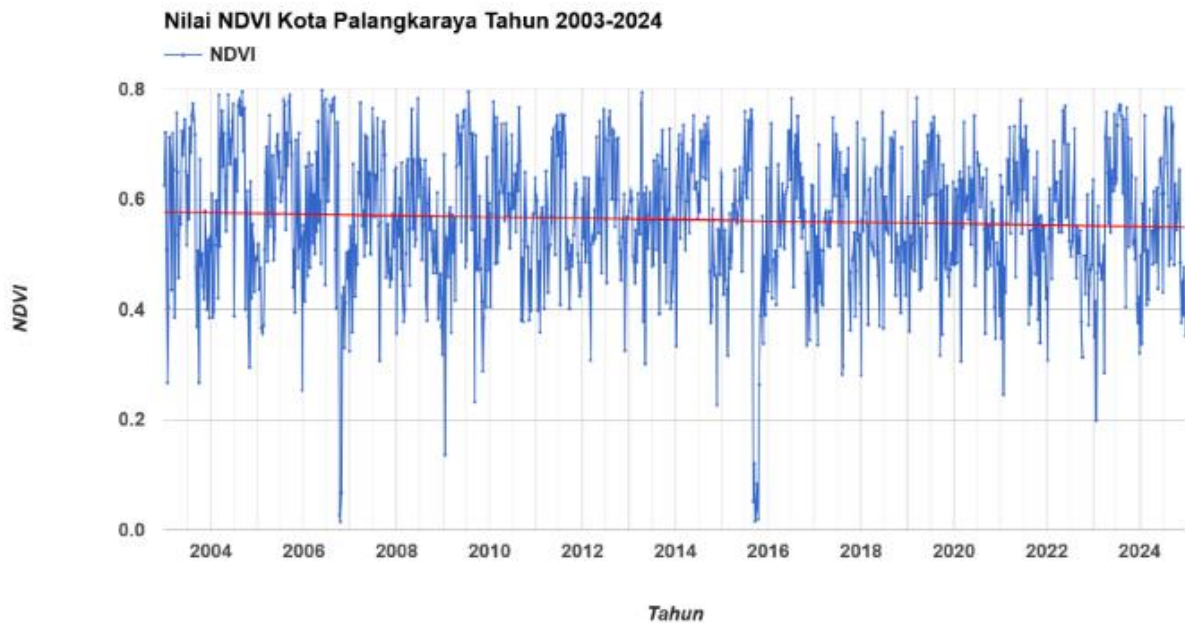
Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat sebaran NDVI di Kota Palangkaraya dari tahun 2003–2024. Non vegetasi digambarkan dengan menggunakan warna merah, vegetasi rendah digambarkan dengan warna kuning, dan vegetasi tinggi digambarkan dengan warna hijau tua.



Gambar 5. Peta sebaran NDVI di Kota Palangkaraya

Berdasarkan gambar sebaran NDVI di Kota Palangkaraya didominasi dengan kelas NDVI sedang dengan rentang nilai NDVI sebesar 0,33–0,45.

Dinamika rata-rata tahunan NDVI di Kota Palangkaraya disajikan oleh Gambar 6.

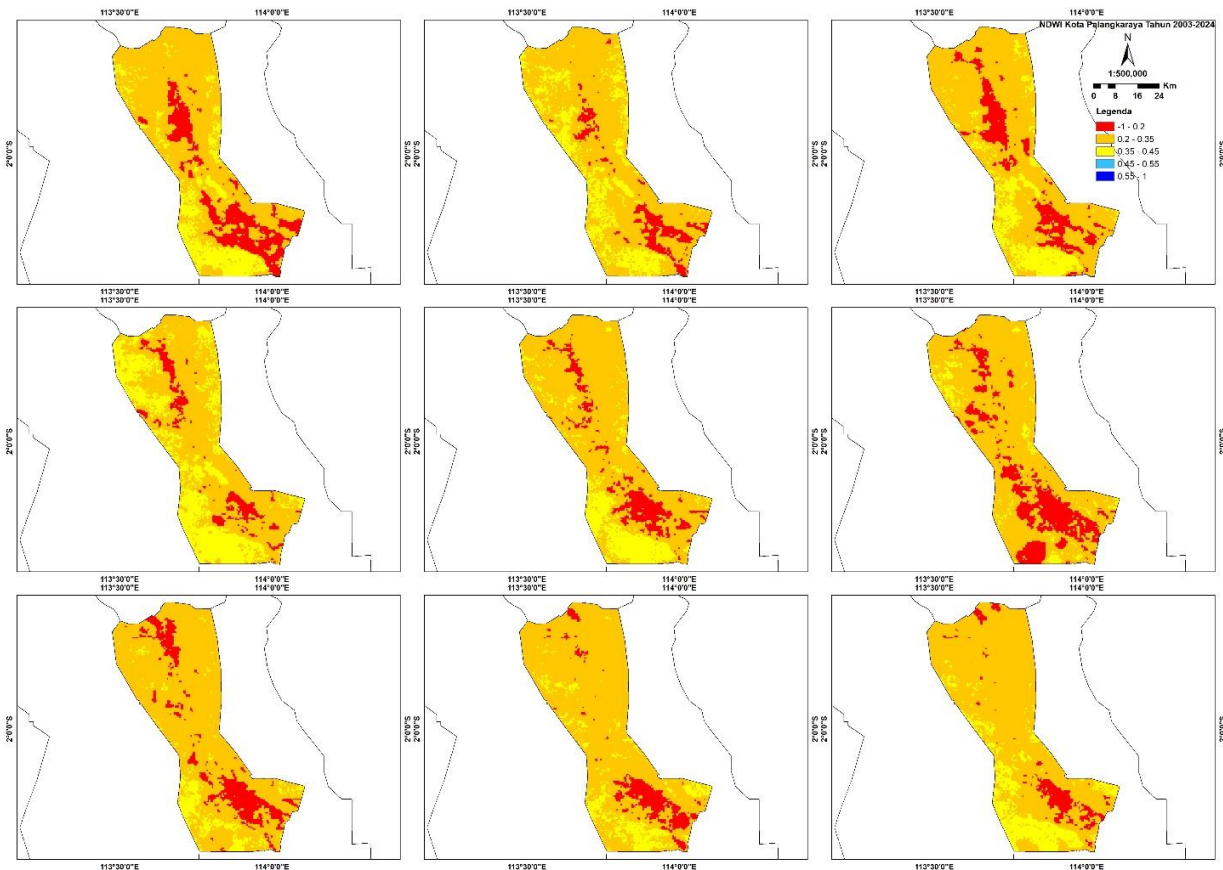


Gambar 6. Grafik dinamika 8 harian NDVI di Kota Palangkaraya

Berdasarkan Gambar 6 dinamika 8 harian NDVI Kota Palangkaraya selama periode 2003 hingga 2024, dengan rentang nilai terendah 0,532 pada tahun 2008, tertinggi di angka 0,613 pada tahun 2014, serta rata-rata 0,564. Garis tren pada grafik mengindikasikan adanya sedikit penurunan NDVI. Dinamika nilai tahunan NDVI di area studi memperlihatkan kenaikan paling signifikan sebesar 0,049 dari tahun 2003 ke 2004, dan penurunan paling drastis sebesar 0,081 dari tahun 2014 ke 2015.

3.3 Dinamika NDWI

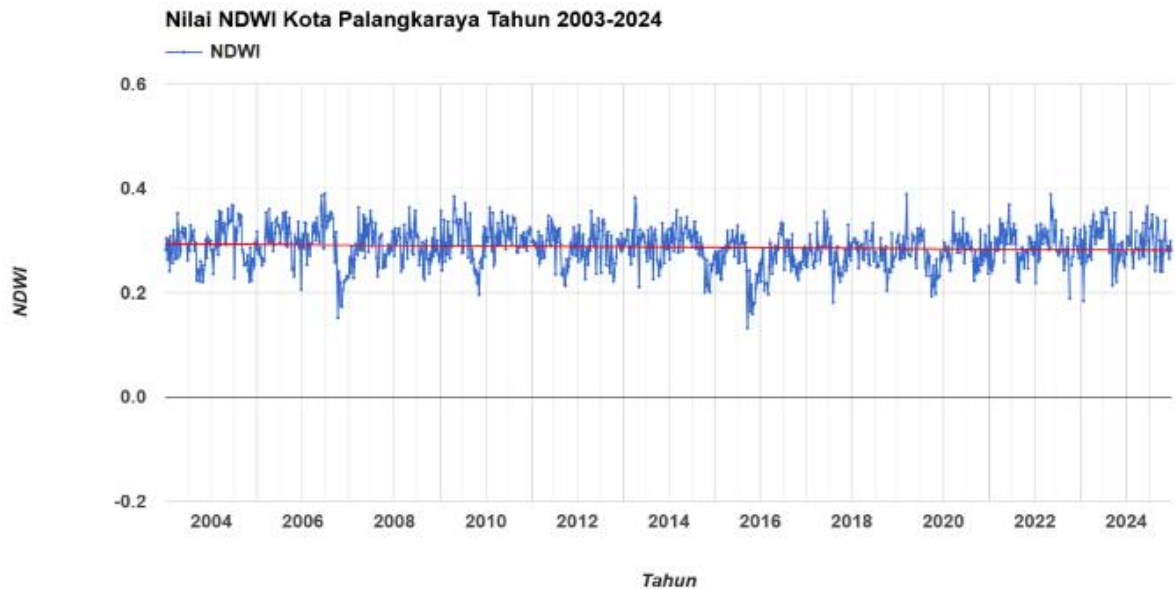
Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat sebaran NDWI di Kota Palangkaraya dari tahun 2003–2024. NDWI sangat rendah di gambarkan dengan menggunakan warna merah, NDWI sedang digambarkan dengan warna kuning, dan NDWI tinggi digambarkan dengan warna biru tua.



Gambar 7. Peta sebaran NDWI di Kota Palangkaraya

Berdasarkan gambar sebaran NDWI di Kota Palangkaraya didominasi oleh kelas NDWI rendah dengan rentang nilai antara 0,2–0,35.

Dinamika rata-rata tahunan NDWI di Kota Palangkaraya disajikan oleh Gambar 8.

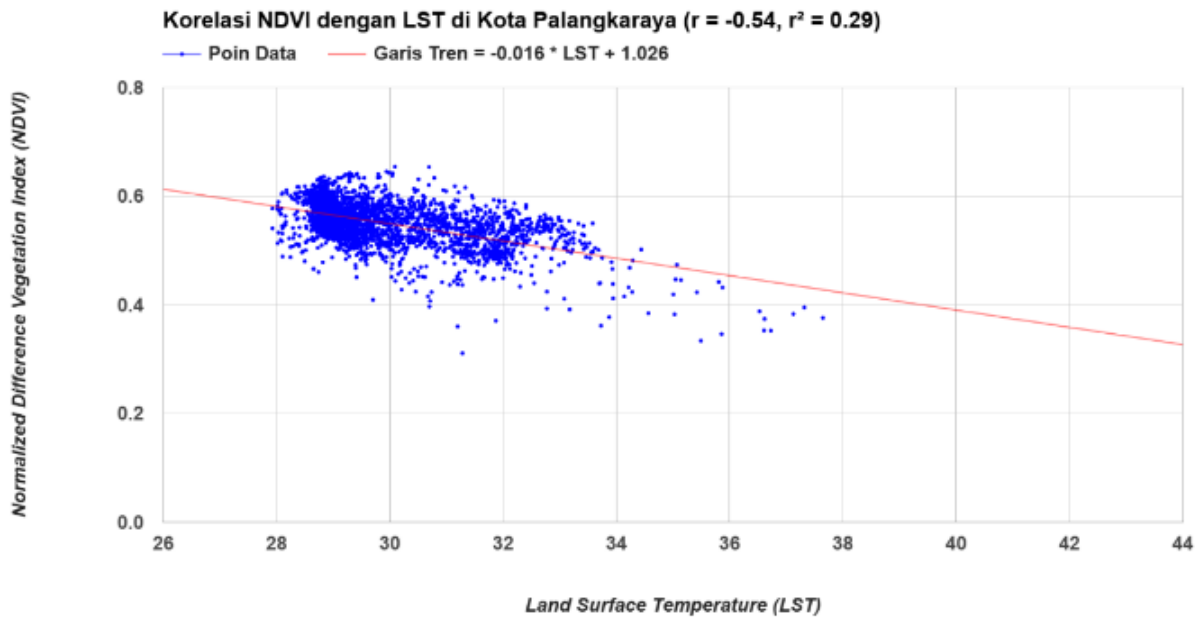


Gambar 8. Grafik dinamika 8 harian NDWI di Kota Palangkaraya

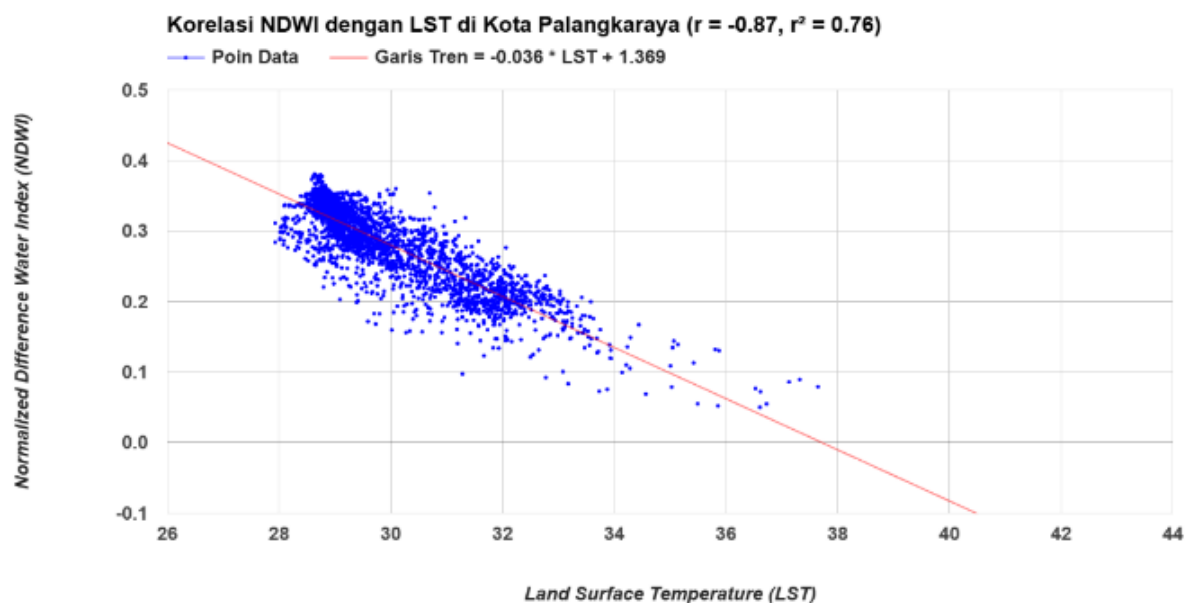
Berdasarkan Gambar 8 dinamika 8 harian NDWI Kota Palangkaraya dari tahun 2003 hingga 2024, dengan rentang nilai terendah 0,263 pada tahun 2016, tertinggi di angka 0,308 pada tahun 2006 dan 2010, serta rata-rata 0,289. Garis tren pada grafik mengindikasikan adanya penurunan NDWI. Dinamika nilai tahunan NDWI di area studi memperlihatkan kenaikan paling signifikan sebesar 0,014 dari tahun 2003 ke 2004, serta penurunan paling drastis sebesar 0,027 dari tahun 2014 ke 2015.

3.4 Analisis Korelasi

Korelasi antara NDVI dengan LST dapat dilihat pada Gambar 9, sedangkan korelasi antara NDWI dengan LST dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 9. Korelasi antara NDVI dengan LST di Kota Palangkaraya



Gambar 10. Korelasi antara NDWI dengan LST di Kota Palangkaraya

Berdasarkan hasil *scatter plot* korelasi di Kota Palangkaraya, korelasi antara NDVI dengan LST menunjukkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,29 dengan nilai koefisien korelasi (r) sebesar -0,54, dengan garis linear yang berlawanan arah (negatif). Kemudian untuk korelasi antara LST dan NDWI, nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,76 dengan nilai koefisien korelasi (r) sebesar -0,87, dengan garis linear yang berlawanan arah (negatif).

3.5 Analisis hasil pengolahan data

Tabel 1. Hasil pengolahan data

Kota	LST Tahun 2003–2024	NDVI Tahun 2003–2024	NDWI Tahun 2003–2024	Korelasi NDVI & LST Tahun 2003–2024	Korelasi NDWI & LST Tahun 2003–2024
Palangkaraya	0,3°C	-0,02	-0,002	$r = -0,54$	$r = -0,87$

Berdasarkan Tabel 1 analisis perubahan dan korelasi di Kota Palangkaraya menunjukkan pola yang konsisten. Dalam periode 2003–2024, Kota Palangkaraya mengalami peningkatan *Land Surface Temperature* (LST) sebesar 0,3°C sesuai dengan temuan oleh Urfiyah (2019) yang menunjukkan adanya kenaikan LST dari tahun 2014–2018 di Kota Malang. Kenaikan suhu ini berbanding terbalik dengan kondisi vegetasi dan kandungan air di kota tersebut. Berdasarkan Tabel 1 adanya *penurunan Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) sebesar -0,02 sesuai dengan temuan Wachid dan Tyas (2022) yang mana adanya penurunan nilai NDVI dari tahun 2016–2021 di Kota Semarang. Kemudian terdapat penurunan *Normalized Difference Water Index* (NDWI) sebesar -0,002 sesuai dengan temuan Mau dkk., (2024) yang mana adanya penurunan nilai NDWI dari tahun 2021–2022 di wilayah Kota Tambolaka.

Analisis korelasi menunjukkan hubungan yang kuat dan konsisten antara LST dengan NDVI dan NDWI. Terdapat korelasi negatif antara LST dan NDVI ($r = -0,54$), yang mengindikasikan bahwa ketika suhu permukaan meningkat, kondisi vegetasi cenderung menurun sejalan dengan temuan Wachid dan Tyas (2022) yang menunjukkan korelasi negatif kuat antara kedua indeks tersebut. Demikian pula, ditemukan korelasi negatif yang sangat kuat antara LST dan NDWI ($r = -0,87$). Pola ini menunjukkan bahwa kenaikan suhu permukaan secara signifikan berkorelasi dengan penurunan kandungan air, sejalan dengan penelitian Mau dkk., (2024) yang menyatakan peningkatan LST biasanya diikuti penurunan NDWI.

4. KESIMPULAN

Selama periode studi, LST di Kota Palangkaraya mengalami kenaikan sebesar $0,3^{\circ}\text{C}$. Kenaikan suhu ini berbanding terbalik dengan kondisi vegetasi dan kandungan air di kota tersebut. Terdapat penurunan NDVI sebesar $-0,02$, yang mengindikasikan berkurangnya vegetasi. Demikian pula, NDWI mengalami penurunan sebesar $-0,002$, menunjukkan adanya pengurangan ketersediaan air permukaan atau lahan basah. Analisis korelasi menunjukkan hubungan yang kuat dan konsisten antara LST dengan NDVI dan NDWI. Terdapat korelasi negatif sedang antara LST dan NDVI ($r = -0,54$), yang berarti peningkatan suhu permukaan berkorelasi dengan penurunan kondisi vegetasi. Demikian pula ditemukan korelasi negatif sangat kuat antara LST dan NDWI ($r = -0,87$). Pola ini menunjukkan bahwa kenaikan suhu permukaan secara signifikan berkaitan dengan penurunan kandungan air, suatu hal yang sangat relevan mengingat ekosistem lahan gambut di Palangkaraya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada Google Earth Engine (GEE) dan National Aeronautics and Space Administration (NASA) atas penyediaan data yang bebas akses dan telah dimanfaatkan dalam penelitian ini, serta kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih khusus disampaikan kepada Bapak Dr. Soni Darmawan, S.T., M.T., selaku pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan berharga selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR RUJUKAN

- Akrim, A. A. D. 2023. "Arahan dan Rekomendasi Mitigasi terhadap Wilayah yang Terdampak Urban Heat Island di Kota Makassar". (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Ally, H, Wahyuningtyas, J, dan Rahmadana, M. I. (2024). "Analisis Spatio temporal Pengaruh Aktivitas industri terhadap fenomena Urban Heat Island (UHI) dan Land Surface Temperature (LST) di Kota Jakarta Timur". *Journal of Tropical Environmental Research* 26 (1): 26 – 37.
- Gao, B. C. (1996). "NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space". *Remote Sensing of Environment*, 58 (3), 257-266.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). "Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone". *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Julianto, F. D., Putri, D. P. D., & Safi'I, H. H. (2020). "Analisis Perubahan Vegetasi dengan Data Sentinel-2 Menggunakan Google Earth Engine". *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 02 (02), 13–18. <http://jurnal.mapin.or.id/index.php/jpji/article/view/29>
- Mau, S. D. I., Pati, G.K, dan Bulu, B. (2024). "Analisis Penginderaan Jarak Jauh Dengan Memanfaatkan LST&NDWI Untuk Mengukur Tingkat Kekeringan Lahan". *Jurnal Inovatif Wira Wacana*, 3 (1), 25 – 32.
- McFeeters, S. K. (2007). "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features". *Remote Sensing Letters*, 28 (8), 1425–1432.
- Prahasta. (2008). "Remote Sensing : Praktis Penginderaan Jauh & Pengolahan Citra Digital dengan Perangkat Lunak ER Mapper". Bandung: Informatika Bandung.
- Qin, Z., Karnieli, A., dan Berliner, P. (2015). "A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region". *International Journal of Remote Sensing*, 22 (18), 3719-3746.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., dan Deering, D. W. (1974). "Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS". In *Third ERTS Symposium* (Vol. 1, pp. 309–317). NASA SP-351.
- Rustiadi, E. (2018). "Perencanaan dan pengembangan wilayah". *Yayasan Pustaka Obor Indonesia*.
- Urfiyah, U. (2019). "Analisis Hubungan Normalized Difference Vegetation Indeks (NDVI) Dengan Land Surface Temperature (LST) Di Kota Malang Menggunakan Citra Landsat 8". Jember: Universitas Jember. <http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/94191>
- Wachid, N. dan Tyas, W. P. (2022). "Analisis Transformasi NDVI dan kaitannya dengan LST Menggunakan Platform Berbasis Cloud: Google Earth Engine". *Jurnal Planologi*, 19 (1), 60–74. <http://dx.doi.org/10.30659/jpsa.v19i1.20199>
- Wan, Z. (1999). "MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document (LST ATBD) Version 3.3". Santa Barbara: Institute for Computational Earth System Science.