

Pengaruh dinamika tutupan lahan terhadap fenomena *Urban Heat Island* di Kota Tegal

The effect of land cover dynamics on the Urban Heat Island phenomenon in Tegal City

Luthfia Khairunnisa^{1*}, Soedwiwahjono¹, dan Erma Fitria Rini¹

¹Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

*Email korespondensi: nisaluthfia26@student.uns.ac.id

Abstrak. Perubahan tutupan lahan akibat proses urbanisasi berpengaruh signifikan terhadap peningkatan suhu permukaan dan munculnya fenomena Urban Heat Island (UHI) di wilayah perkotaan. Kota Tegal sebagai kota pesisir yang berkembang mengalami dinamika pembangunan wilayah yang berdampak pada perubahan tutupan lahan dan distribusi suhu permukaan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh dinamika tutupan lahan terhadap fenomena UHI di Kota Tegal selama periode 2000–2024. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis penginderaan jauh dengan memanfaatkan citra Landsat 5 TM dan Landsat 8 OLI untuk mengekstraksi suhu permukaan lahan (*Land Surface Temperature/LST*), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), dan *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI), serta klasifikasi tutupan lahan secara terbimbing (*supervised classification*). Analisis hubungan antara perubahan tutupan lahan dan LST dilakukan menggunakan model regresi spasial *Ordinary Least Squares* (OLS) dan *Geographically Weighted Regression* (GWR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa lahan pertanian, vegetasi berkanopi, dan badan air berpengaruh negatif terhadap suhu permukaan, sedangkan kepadatan bangunan yang direpresentasikan oleh NDBI berkontribusi positif terhadap peningkatan suhu. Puncak fenomena UHI terjadi pada tahun 2010 seiring dengan intensifikasi urbanisasi, kemudian mengalami penurunan pada tahun 2024 yang berkaitan dengan perluasan badan air akibat intrusi air laut. Selain itu, pola spasial UHI mengalami pergeseran dari wilayah sekitar pelabuhan ke arah selatan kota mengikuti dinamika pembangunan wilayah. Temuan ini memberikan implikasi penting bagi

perencanaan pembangunan wilayah dan strategi adaptasi perubahan iklim di kota pesisir.

Kata Kunci: Land Surface Temperature; Penginderaan Jauh; Perubahan Tutupan Lahan; Urban Heat Island

Abstract. Land cover change driven by urbanization significantly affects surface temperature increases and the emergence of the Urban Heat Island (UHI) phenomenon in urban areas. Tegal as a developing coastal city, has experienced dynamic regional development that influences land cover patterns and surface temperature distribution. This study aims to analyze the impact of land cover dynamics on the UHI phenomenon in Tegal during the 2000–2024 period. A quantitative remote sensing approach was applied using Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI imagery to extract Land Surface Temperature (LST), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and Normalized Difference Built-up Index (NDBI), along with supervised land cover classification. The relationship between land cover change and LST was examined using spatial regression models, namely Ordinary Least Squares (OLS) and Geographically Weighted Regression (GWR). The results indicate that agricultural land, vegetation canopy, and water bodies have a negative effect on surface temperature, while building density represented by NDBI contributes positively to temperature increases. The peak UHI intensity occurred in 2010, coinciding with intensified urbanization, and subsequently declined in 2024 due to the expansion of water bodies associated with seawater intrusion. Additionally, the spatial pattern of UHI shifted from areas near the port toward the southern part of the city, reflecting ongoing regional development dynamics. These findings provide important insights for regional development planning and climate adaptation strategies in coastal cities.

Keywords: Land Cover Change; Land Surface Temperature; Remote Sensing; Urban Heat Island

1. Pendahuluan

Perkembangan perkotaan yang pesat akibat urbanisasi, dapat membawa perubahan signifikan terhadap kondisi fisik dan sosial [1,2]. Urbanisasi itu sendiri dapat menyebabkan perubahan struktur dan konversi lahan alami menjadi terbangun yang berdampak pada peningkatan suhu perkotaan [3–6]. Fenomena ini dikenal sebagai *Urban Heat Island* (UHI) yaitu fenomena di mana suhu pada wilayah perkotaan lebih tinggi dibandingkan dengan daerah sekitarnya yang belum mengalami urbanisasi [7]. UHI dapat disebut juga sebagai efek perubahan iklim yang tidak disengaja akibat perubahan permukaan tanah, utamanya disebabkan oleh peningkatan urbanisasi dan aktivitas antropogenik [8,9].

Beberapa studi menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan memiliki dampak langsung terhadap variabilitas suhu permukaan perkotaan [10]. Metode penginderaan jauh dan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) telah banyak digunakan untuk menganalisis

hubungan antara perubahan tutupan lahan dan suhu permukaan terkait fenomena UHI [11,12] Penelitian tentang UHI telah dilakukan di berbagai kota dengan pendekatan yang beragam. Studi yang menggunakan data penginderaan jauh menunjukkan, peningkatan tutupan lahan terbangun sejalan dengan kenaikan suhu permukaan [13]. Beberapa mengungkap bahwa indeks vegetasi seperti NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) memiliki hubungan negatif dengan suhu permukaan, sementara indeks kepadatan bangunan seperti NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*) berhubungan positif dengan fenomena UHI [14].

Sebagai kota pesisir di jalur Pantai Utara Jawa, Kota Tegal diketahui mengalami perkembangan urbanisasi pesat pada tahun 2000-2010, dipicu dari tingginya peningkatan demografi, pertumbuhan ekonomi, serta ciri pedesaan yang bergeser sepenuhnya menjadi perkotaan pada seluruh kecamatan yang ada [15–19]. Dengan tingkat urbanisasi yang terus meningkat, Kota Tegal mengalami perubahan tutupan lahan cukup signifikan dan telah diteliti oleh beberapa penelitian sebelumnya. Penelitian oleh [20] menemukan bahwa dalam satu dekade (2009-2019), lahan terbangun meningkat sebesar 9,2%, sementara kawasan hijau mengalami penyusutan. Sementara itu, penelitian lain oleh [21] menunjukkan lahan sawah irigasi mengalami penurunan lebih cepat pada periode 2003-2014 dibandingkan 1994-2003. Tingginya aktivitas pelabuhan sebagai bagian dari pengembangan Kota Bahari juga berdampak pada perubahan ekosistem pesisir, termasuk penurunan jumlah mangrove akibat ketidakseimbangan ekologi [22].

Terjadinya fenomena perubahan tutupan lahan dari alami menuju buatan ini, membawa pada beberapa penelitian yang mengkaji seputar dampaknya terhadap suhu perkotaan Kota Tegal. Penelitian oleh [23] menunjukkan terjadinya peningkatan luas kawasan terbangun di Kota Tegal telah berdampak pada peningkatan suhu permukaan yang signifikan dalam kurun waktu 2013-2020. Penelitian lain oleh [24] juga menyebut Kota Tegal mengalami isu ketidaknyamanan suhu, sehingga tercatat memasuki kategori tekanan panas berat (*strong heat stress*) di tahun 2019 menurut UTCI.

Meski begitu, studi terkait UHI saat ini cenderung lebih banyak dilakukan di kota-kota besar, sementara studi UHI untuk kota berukuran menengah seperti Kota Tegal, masih sangat minim. Di sisi lain, terjadinya perubahan tutupan lahan yang kemudian memberi efek negatif terkait kenyamanan suhu, yaitu dapat menjadi indikasi munculnya fenomena UHI di Kota Tegal. Adanya penelitian-penelitian terkait isu perubahan tutupan lahan di Kota Tegal juga cenderung masih berfokus pada satu fenomena, sehingga belum menggali penelitian lebih dalam terkait adanya indikasi risiko fenomena UHI yang mungkin berkembang. Hal ini memerlukan perhatian lebih lanjut, sehubungan dengan dampak perubahan tutupan lahan yang dapat terus terjadi apabila tidak diwaspadai mitigasinya terhadap fenomena iklim kota.

Dengan mengetahui pola fenomena UHI di Kota Tegal, secara ilmiah dapat menambah kajian literatur mengenai pola fenomena UHI untuk kota berukuran menengah di kawasan pesisir, yang terdampak urbanisasi. Serta secara praktis, penelitian ini juga dapat menjadi dasar dalam

perencanaan dan pengelolaan ruang perkotaan yang lebih adaptif terhadap perubahan iklim. Oleh karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisis pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap fenomena *Urban Heat Island* di Kota Tegal. Sementara, tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap fenomena UHI di Kota Tegal selama periode tahun 2000-2024.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis spasial yang memanfaatkan penginderaan jauh. Data citra Landsat 5 TM dan Landsat 8 OLI digunakan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan dan suhu permukaan lahan (LST) pada tahun 2000, 2010, 2020, dan 2024. Pengolahan citra dilakukan untuk mengidentifikasi perubahan tutupan lahan sebagai variabel independen, yang terdiri dari analisis klasifikasi jenis tutupan lahan menggunakan metode terbimbing (*supervised classification*), analisis indeks kerapatan vegetasi (NDVI), dan analisis indeks kerapatan bangunan (NDBI). Selanjutnya, fenomena UHI sebagai variabel dependen didasarkan pada data suhu permukaan lahan (LST), serta analisis penentuan ambang batas untuk mendeteksi pola sebaran UHI, dihitung dengan berpedoman pada penelitian [25].

Selanjutnya, analisis regresi spasial yang merupakan metode analisis statistik untuk melihat hubungan antara variabel dengan mempertimbangkan faktor lokasi, dilakukan menggunakan model analisis *Ordinary Least Squares* (OLS) dan *Geographically Weighted Regression* (GWR). Kedua model ini dilakukan secara bertahap, di mana seluruh variabel harus lulus uji signifikansi pada tahap OLS sebelum dijadikan input tahap GWR. Analisis regresi spasial dilakukan untuk mengidentifikasi hubungan setiap variabel independen terhadap suhu permukaan lahan (LST). Hasil peta GWR kemudian digabungkan menggunakan metode *overlay* bersama peta sebaran UHI, sehingga didapatkan hasil bagaimana perubahan tutupan lahan berpengaruh signifikan terhadap suhu permukaan lahan (LST), dan secara spasial mempengaruhi pola fenomena UHI.

3. Hasil penelitian dan pembahasan

3.1. Hasil

3.1.1. Analisis spasial perubahan tutupan lahan. Analisis ini mencakup adanya perubahan tutupan yang terjadi di Kota Tegal pada kurun waktu 2000 – 2024, berdasarkan klasifikasi jenis tutupan lahan (Badan Air, Lahan Pertanian, Lahan Terbangun, dan Vegetasi Berkanopi), indeks kerapatan vegetasi (NDVI), dan indeks kerapatan bangunan (NDBI).

Berdasarkan analisis klasifikasi jenis tutupan lahan, diketahui bahwa telah terjadi konversi dari lahan pertanian dan vegetasi berkanopi, menjadi lahan terbangun dan badan air. Hasil Analisis menunjukkan, lahan pertanian menurun sebesar 11 % dan vegetasi berkanopi menurun 12%. Sementara itu, lahan terbangun meningkat 11% dan badan air meningkat 12%. Mengacu pada informasi yang didapat dari pengumpulan data primer wawancara dan observasi lapangan, sebab peningkatan lahan terbangun ini terjadi dipicu urbanisasi yang memunculkan

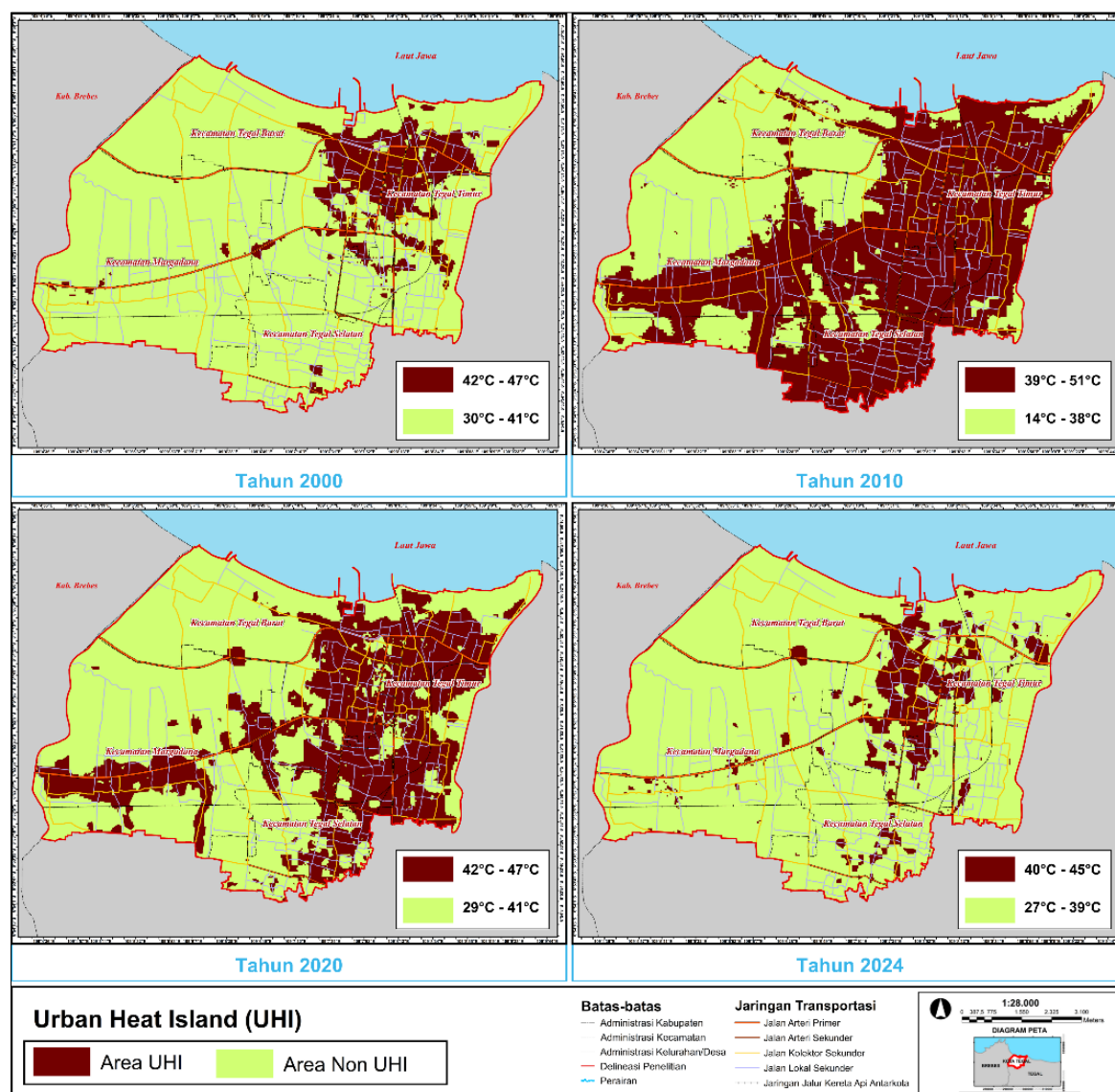
kebutuhan atas lahan permukiman di Kota Tegal. Di sisi lain, peningkatan badan air terjadi akibat adanya fenomena intrusi air laut di Kecamatan Margadana yang menyebabkan badan air menggenang pada lahan pertanian yang dulunya produktif, menjadi badan air yang terbengkalai.

Hasil analisis NDVI juga menunjukkan telah terjadi perubahan kerapatan vegetasi kelas rapat menjadi kerapatan vegetasi kelas jarang yang melebar sepanjang jalan arteri. Hal ini masih sehubungan dengan hasil analisis NDBI, di mana kerapatan kelas non terbangun menurun sebesar 20% dengan persebaran merata cenderung mengikuti jalan di seluruh Kota Tegal.

3.1.2. Analisis spasial suhu permukaan lahan dan penentuan ambang batas UHI. Analisis ini mencakup identifikasi suhu permukaan lahan (LST) pada tahun 2000, 2010, 2020, dan 2024. Selanjutnya dilakukan penentuan ambang batas suhu UHI, sehingga diketahui sebaran spasial untuk area-area yang terdampak UHI dan yang tidak.

Hasil analisis LST menunjukkan adanya perubahan suhu minimum, suhu maksimum, suhu rata-rata, dan standar deviasi selama periode 2000 - 2024 ke arah suhu yang lebih dingin. Diketahui tahun 2024 merupakan tahun dengan rata-rata suhu terendah dengan standar deviasi konsisten stabil mulai tahun 2020 – 2024. Konsistennya standar deviasi selama empat tahun terakhir dapat mengindikasikan kondisi dari sebaran suhu di Kota Tegal yang mencapai keseimbangan. Di sisi lain, didapatkan temuan bahwa fase urbanisasi berdasarkan [18,19] terjadi pada sekitar tahun 2010, telah mempengaruhi suhu permukaan secara drastis. Rentang suhu pada tahun tersebut diketahui terpaut sangat jauh antara suhu paling dingin dan paling panas, serta tingginya standar deviasi yang menandakan distribusi suhu tidak seimbang selama proses urbanisasi terjadi.

Berdasarkan data LST ini, kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan ambang batas UHI, menggunakan data rata-rata suhu dan standar deviasi. Didapatkan bahwa luas area dan intensitas suhu UHI mengalami puncak tertingginya pada tahun 2010, sementara pada tahun 2024 intensitas dan luasannya menurun secara besar. Kondisi pada tahun 2024 diamati hampir menyerupai kondisi awal di tahun 2000, hanya saja dengan suhu lebih dingin dan pola sebaran UHI yang berubah cenderung menyebar ke arah selatan (dapat dilihat pada Gambar 1).



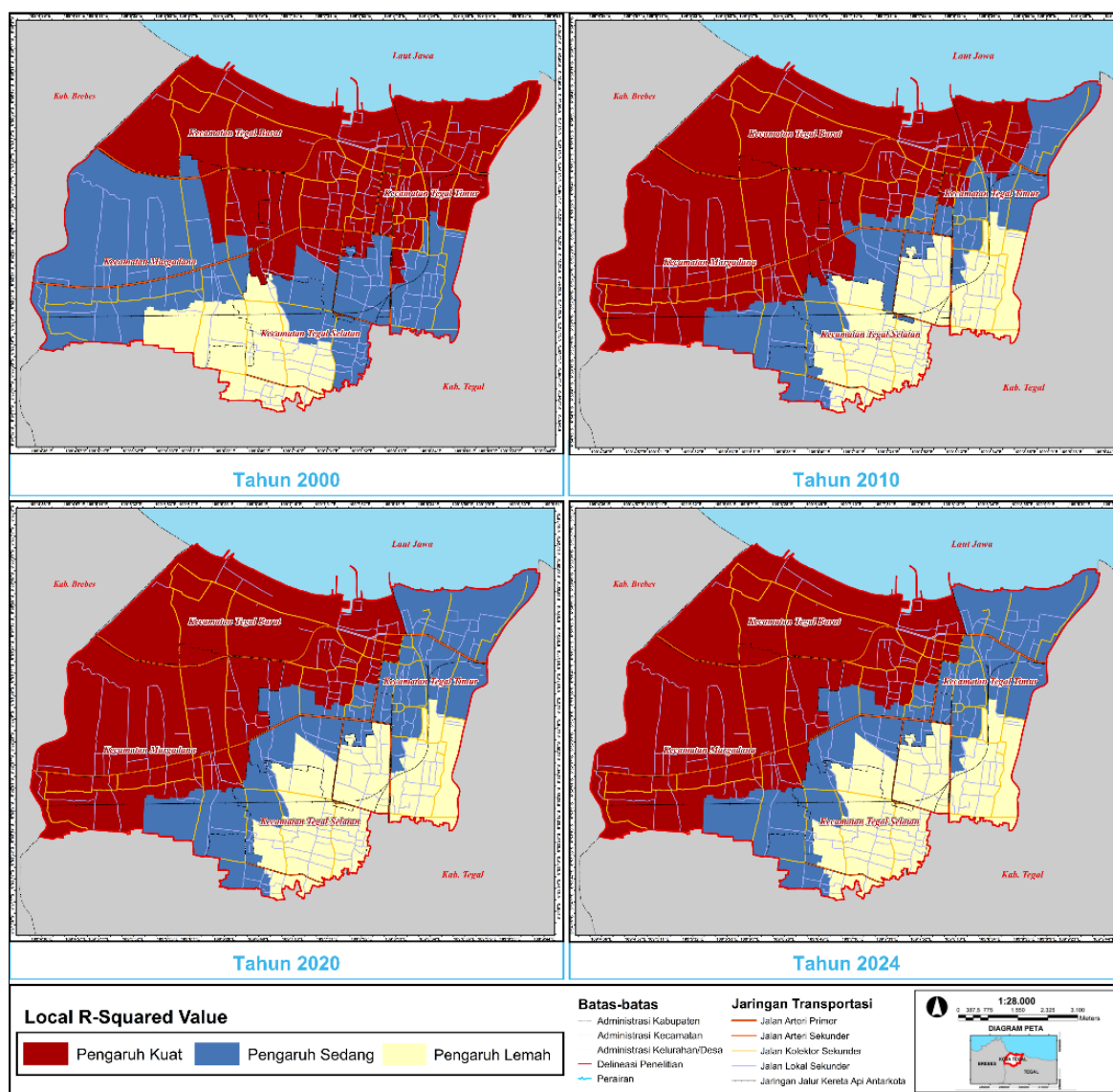
Gambar 1. Peta fenomena UHI Kota Tegal.

3.1.3 Analisis regresi spasial pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap suhu permukaan lahan (LST). Analisis *Ordinary Least Squares* (OLS) digunakan untuk mendapatkan hasil statistik dari nilai regresi setiap variabel independen (Badan Air, Lahan Pertanian, Lahan Terbangun, Vegetasi Berkanopi, NDVI, dan NDBI) terhadap variabel dependen (suhu permukaan lahan/LST). Pada analisis OLS ini digunakan pedoman nilai *P-Value* < 0,05 untuk dapat dinyatakan lulus signifikansi [26]. Kemudian, nilai koefisien pengaruh (*R-Squared*) digunakan untuk mengukur seberapa jauh variabel independen mempengaruhi variabel dependen. Hanya variabel-variabel yang signifikan dalam 4 waktu penelitian, yang akan menjadi input pada tahap GWR.

Didapatkan hasil signifikansi uji regresi OLS, bahwa lahan terbangun dan NDVI tidak signifikan dalam mempengaruhi suhu permukaan (LST) di Kota Tegal. NDVI dianggap tidak signifikan dimungkinkan karena kondisi Kota Tegal yang banyak memiliki luasan area badan air, sehingga berpotensi mengalami bias tinggi. Lahan basah cenderung menghasilkan nilai NDVI besar seperti yang juga terdapat dalam penelitian [12]. Sementara itu, badan air, lahan pertanian, vegetasi berkanopi, dan NDBI memenuhi syarat signifikansi, di mana setiap perubahan tutupan lahan pada variabel-variabel ini berkontribusi terhadap perubahan suhu permukaan di Kota Tegal.

Badan air, lahan pertanian, dan vegetasi berkanopi berpengaruh secara negatif (-), sedangkan NDBI berpengaruh secara positif (+). Setiap peningkatan 1 km² badan air, suhu permukaan diperkirakan turun 2,0–2,5°C. Setiap peningkatan luas lahan pertanian sebesar 1 km², suhu permukaan diperkirakan turun sebesar 1,9– 5,1°C. Setiap peningkatan luas vegetasi berkanopi sebesar 1 km², suhu permukaan diperkirakan menurun sebesar 2,3–10,3°C. Setiap peningkatan kerapatan bangunan sebesar 0,1 (unit *index* NDBI), suhu permukaan diperkirakan meningkat sebesar 2,13–2,28°C. Setelah didapatkan signifikansi berdasarkan regresi OLS, diperlukan analisis GWR untuk memetakan pada area-area mana saja, perubahan tutupan lahan tersebut mempengaruhi suhu secara spasial pada tingkat pengaruh kuat, sedang, dan lemah.

Hasil peta GWR menunjukkan bahwa telah terjadi pergeseran pola pengaruh tutupan lahan terhadap suhu permukaan (LST) di Kota Tegal. Perubahan ini nampak signifikan antara sebaran GWR pada tahun 2000 dengan tahun 2010–2024. Area pengaruh kuat yang semula berpusat di Kecamatan Tegal Barat dan bagian utara Kecamatan Tegal Timur, mulai tahun 2010 bergeser dan meluas ke Kecamatan Margadana. Hal ini menandakan telah terjadi suatu perubahan tutupan lahan pada area-area tersebut, yang secara kuat dan masif berdampak signifikan dalam mempengaruhi suhu permukaan (LST) di Kota Tegal (dapat dilihat pada Gambar 2).

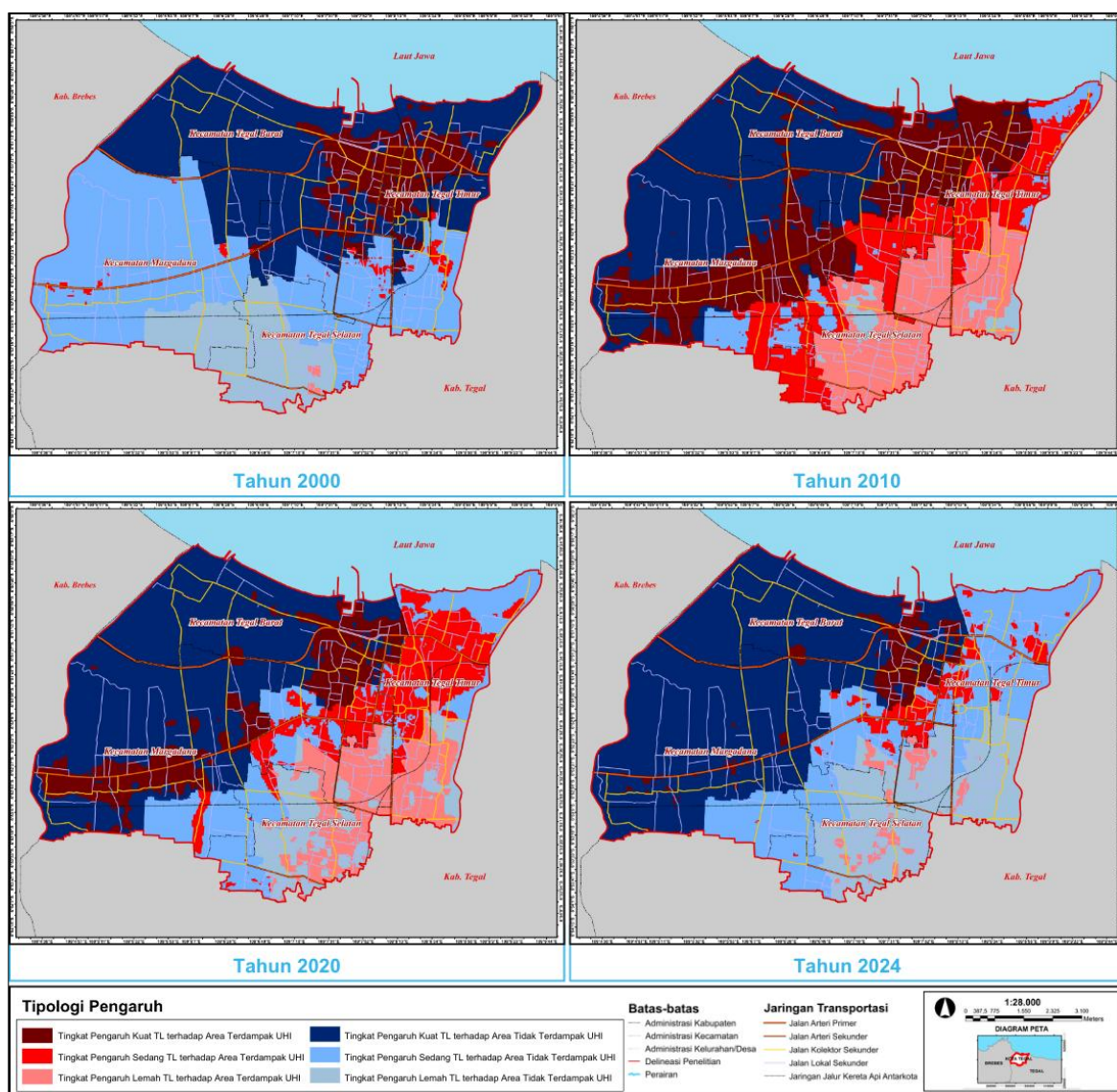


Gambar 2. Peta pengaruh tutupan lahan terhadap LST analisis regresi spasial GWR.

3.1.4 Analisis overlay tingkat pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap fenomena UHI. Analisis *overlay* dilakukan untuk mendapatkan hubungan tingkat pengaruh tutupan lahan terhadap suhu permukaan pada peta GWR, terkait fenomena UHI di Kota Tegal. Hasil analisis *overlay* menghasilkan 6 tipologi, yang dikategorikan berdasarkan tingkat pengaruhnya (kuat, sedang, lemah) terhadap area terdampak UHI dan area yang tidak.

Fenomena UHI di Kota Tegal mengalami fluktuasi yang dipengaruhi perubahan tutupan lahan baik pada tingkat pengaruh kuat, sedang, maupun lemah. Diketahui puncak area terdampak UHI paling luas ada di tahun 2010 yang masih merupakan masa urbanisasi. Pada masa tersebut, perubahan tutupan lahan yang memicu UHI meningkat di seluruh kategori baik tingkat kuat, sedang, dan lemah, menandakan bahwa fenomena UHI saat itu terjadi secara

massif dan menyeluruh (dapat dilihat pada Gambar 3). Meski begitu, pengaruh tutupan lahan yang memicu UHI selanjutnya menyusut seiring penurunan intensitas dan luasan UHI pada tahun 2020 hingga 2024. Hal ini diketahui sebagai efek penurunan suhu kota akibat meluasnya badan air di Kecamatan Margadana, dengan tingkat pengaruh kuat dimulai tahun 2010 – 2024 (dapat dilihat pada Gambar 3).



Gambar 3. Peta *overlay* tingkat pengaruh tutupan lahan terhadap fenomena UHI di Kota Tegal.

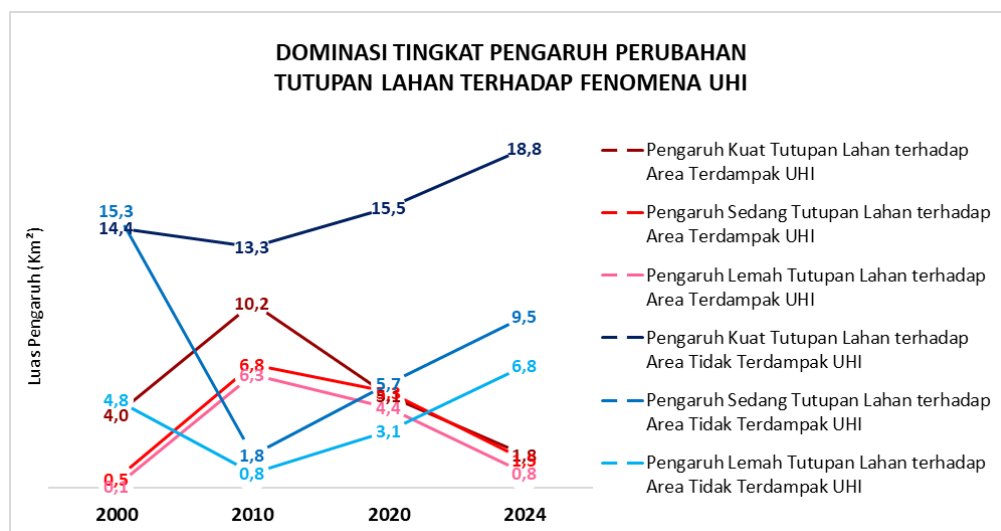
Berdasarkan dominasi yang ditunjukkan grafik Gambar 4, perubahan tutupan lahan di Kota Tegal secara konsisten berpengaruh kuat terhadap area-area tidak terdampak *Urban Heat Island* (UHI). Meskipun Kota Tegal mengalami proses urbanisasi, fenomena UHI yang berlangsung cenderung bersifat fluktuatif. Area terdampak UHI di tahun 2000 yang awalnya

dipicu perubahan tutupan lahan dengan tingkat kuat, seiring waktu terus mengalami penurunan. Penurunan ini berlangsung signifikan, dibandingkan dengan kondisi awal ketika aktivitas perkotaan masih konsentris belum meluas ke arah selatan. Temuan ini mengindikasikan bahwa tren kemunculan UHI di Kota Tegal tidak dipicu pengaruh perubahan tutupan lahan tingkat kuat. Sebaliknya, perubahan tutupan lahan dengan tingkat kuat justru berubah menurunkan suhu, yang saat ini berperan dalam meredam intensitas fenomena UHI.

Dapat dilihat juga pada grafik Gambar 4, diperlihatkan bagaimana tren fenomena UHI berkembang lebih stabil pada area dengan tingkat pengaruh sedang dan lemah. Hal ini ditunjukkan dari besar perbandingan antara area terdampak dan tidak terdampak UHI yang relatif lebih seimbang di kedua kategori tersebut, terutama pada periode pasca urbanisasi di tahun 2020 hingga 2024. Grafik menunjukkan bahwa lonjakan penurunan suhu untuk area pengaruh sedang dan lemah minim terjadi, sehingga menjadikannya lebih rentan terhadap kemunculan atau keberlanjutan fenomena UHI.

Hasil analisis mengungkapkan, fenomena UHI di pusat kota terjadi pada area tingkat pengaruh sedang, yang merupakan kawasan permukiman padat. Sementara itu, pada tingkat pengaruh lemah, fenomena UHI diketahui menyebar hingga area selatan yang merupakan perbatasan sub-urban, dengan permukiman kepadatan rendah cenderung minim vegetasi (dapat dilihat pada Gambar 3). Temuan ini mengindikasikan bagaimana fenomena UHI tidak linear muncul pada wilayah dengan pengaruh tutupan lahan kuat, melainkan lebih rawan terjadi pada wilayah dengan pengaruh sedang dan lemah.

Dengan demikian, dapat disimpulkan berdasarkan tren selama 24 tahun penelitian, dinamika perubahan tutupan lahan di Kota Tegal tidak menunjukkan arah transformasi yang memperkuat intensitas UHI secara signifikan, karena efek pendinginan badan air akibat fenomena intrusi air laut mempengaruhi penurunan suhu secara kuat. Namun, fenomena UHI bertahan lebih baik pada wilayah dengan pengaruh perubahan tutupan lahan tingkat sedang dan lemah sehingga memerlukan perhatian mitigasi UHI.



Gambar 4. Grafik dominasi tingkat pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap fenomena UHI.

3.2. Diskusi

3.2.1 Dampak urbanisasi dan arah perkembangan kota terhadap pola sebaran UHI di Kota Tegal sebagai kawasan pesisir. Urbanisasi di Kota Tegal dipicu oleh faktor demografi dan perkembangan ekonomi [17,18] yang berdampak pada perubahan tutupan lahan dari vegetasi berkanopi dan lahan pertanian menjadi lahan terbangun dan badan air. Perkembangan kota terjadi utamanya mengikuti jalan arteri primer, yang difungsikan sebagai kawasan perdagangan dan jasa, serta industri. Pola fenomena UHI menunjukkan (Gambar 1), bahwa ekspansi UHI yang sebelumnya terkonsentrasi di timur laut kini menyebar ke arah selatan, cenderung mengikuti perkembangan kota. Terdapat tiga area utama dengan pengaruh tutupan lahan terhadap UHI yang kuat, diantaranya mencakup kawasan permukiman padat di bagian utara pusat kota, area perdagangan pantura serta terminal di Jl. Kolonel Sugiono, serta kawasan industri di Jl. Lingkar Utara. Selain itu, UHI yang muncul pada area pengaruh sedang juga konsisten bertahan di area pusat kota (Mangkukusuman Pekauman, dan Kemandungan), yang selanjutnya memicu UHI dari pengaruh tutupan lahan lemah di kelurahan sekitar dekat dengan sub-urban bagian selatan. Pergeseran pola UHI yang mengikuti perkembangan kota bergeser ke selatan (dampak ekspansi permukiman akibat urbanisasi), serta jalan arteri (lihat Gambar 1), menunjukkan pola UHI serupa dengan yang terjadi di Kota Cirebon dan Kendal. Studi terkait fenomena UHI pada kawasan perkotaan pesisir, mengkaji bahwa terdapat kecenderungan UHI mengikuti pola pertumbuhan kota serta adanya intensifikasi di kawasan industri [27].

3.2.2 Tingkat pengaruh kerapatan bangunan terhadap suhu permukaan lahan (LST) terkait fenomena UHI di Kota Tegal. Fenomena UHI di Kota Tegal menunjukkan hubungan yang positif antara kerapatan bangunan dan peningkatan suhu permukaan (LST), sebagaimana dikonfirmasi pada analisis regresi OLS yang menunjukkan bahwa kenaikan 0,1 unit NDBI

meningkatkan suhu permukaan sebesar 2,13 – 2,28°C. Namun, tren terbaru menunjukkan bahwa dominasi UHI cenderung lebih stabil muncul pada tipologi dengan pengaruh sedang dan lemah dibandingkan kuat. Kelurahan dengan nilai kerapatan bangunan tertinggi (Mangkukusuman dan Pekauman) justru mengalami penurunan kategori pengaruh dari kuat ke sedang dalam periode 2000–2024. Temuan ini menunjukkan, bahwa selain kerapatan bangunan terdapat efek dari perubahan tutupan lahan lain yang turut berkontribusi besar dalam mempengaruhi dinamika suhu (LST). Intensitas UHI yang menurun pada area kerapatan bangunan tinggi juga menunjukkan, meskipun secara regresi NDBI memiliki koefisien pengaruh besar dalam meningkatkan suhu, pertumbuhan kerapatan bangunan di Kota Tegal tidak sebanding besarnya dengan peningkatan variabel tutupan lahan lain dengan sifat menurunkan suhu, yang pada kasus ini adalah perluasan badan air.

3.2.3. Tingkat pengaruh badan air terhadap suhu permukaan lahan (LST) terkait fenomena Non-UHI di Kota Tegal. Hasil analisis menunjukkan bahwa keberadaan badan air memiliki peran signifikan dalam menurunkan suhu permukaan lahan di Kota Tegal. Peningkatan badan air akibat intrusi air laut diketahui secara konsisten berkontribusi dalam menurunkan intensitas dan luasan UHI dari tahun 2010 hingga 2024. Kawasan terdampak intrusi yaitu Cabawan, Krandon, Kaligangsa, dan Margadana menunjukkan peningkatan pengaruh terhadap suhu, dari semula pengaruh sedang menjadi kuat yang berhasil menekan ekspansi fenomena UHI. Selain itu, Kelurahan Muarareja yang sejak awal sudah didominasi badan air dikarenakan luasnya penggunaan lahan tambak, secara konsisten berada pada tingkat pengaruh kuat dalam mempengaruhi suhu (LST). Tren konsistensi diikuti peningkatan pengaruh badan air terhadap efek pendinginan suhu di Kota Tegal, dapat menjadi strategi mitigasi UHI melalui pemanfaatan ruang hijau-biru seperti danau kota, sehingga menciptakan *Urban Cooling Island* (UCI).

3.2.4. Penerapan badan air sebagai infrastruktur hijau-biru terkait strategi penurunan efek Pulau Panas Perkotaan (UHI) di Kota Tegal. Badan air berpotensi dimanfaatkan menjadi *Urban Cooling Island* (UCI), sebagaimana telah dikaji penerapannya dalam berbagai penelitian. Studi di Beijing menunjukkan bahwa badan air yang lebih besar, berbentuk sederhana, dan berada di pusat kota lebih efektif dalam menurunkan suhu [28]. Sementara, penelitian lain di Rotterdam menunjukkan bahwa efektivitas badan air tetap bergantung kondisi lingkungan, pada kondisi ekstrem seperti gelombang panas, badan air justru mempertahankan suhu lebih stabil sehingga dapat menghambat pendinginan pada malam hari [29]. Oleh karena itu, implementasi badan air sebagai strategi mitigasi UHI memerlukan bantuan faktor lain seperti vegetasi, yang dapat mempercepat pendinginan supaya memberi hasil optimal dalam menurunkan suhu kota, seperti yang disebut pada penelitian [30]. Model infrastruktur hijau yang mengombinasikan antara badan air dan vegetasi telah diimplementasikan di Kota Tegal. Difungsikannya Taman Kota Mangrove sebagai langkah solutif sebagian area terdampak intrusi air laut di tahun 2021, diketahui telah berdampak pada penurunan intensitas UHI di tahun 2024.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan di Kota Tegal selama periode 2000–2024 memiliki pengaruh signifikan terhadap fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Analisis spasial menggunakan metode penginderaan jauh dan regresi spasial mengungkapkan bahwa variabel badan air, lahan pertanian, vegetasi berkanopi, dan indeks kepadatan bangunan (NDBI) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap suhu (LST). Sementara, lahan terbangun dan indeks vegetasi (NDVI) tidak menunjukkan hubungan signifikan dalam model regresi.

Terjadinya perluasan badan air akibat intrusi air laut yang bersifat menurunkan UHI dalam jumlah besar di Kecamatan Margadana, telah menciptakan pertentangan dinamika dengan fenomena UHI di Kota Tegal. Di satu sisi, peningkatan badan air memiliki efek pendinginan signifikan, tetapi di sisi lain, urbanisasi yang juga berlangsung terus mendorong peningkatan kerapatan bangunan dan ekspansi lahan terbangun sehingga memperkuat UHI. Interaksi kedua variabel ini menghasilkan pola perubahan suhu yang tidak linier, di mana pengaruh pendinginan badan air bersaing dengan efek pemanasan dari pertumbuhan kota.

Secara temporal, hasil analisis menunjukkan puncak fenomena UHI di Kota Tegal terjadi pada tahun 2010, seiring fase urbanisasi. Namun, setelah tahun 2010, ditemukan tren penurunan intensitas dan luas UHI hingga tahun 2024, yang merupakan efek pendinginan dari badan air. Pengaruh perubahan tutupan lahan ini diketahui turut membawa pergeseran pola spasial UHI. Fenomena UHI yang mulanya secara kuat muncul di sisi utara kota dekat pelabuhan, saat ini menyebar mengikuti perkembangan perkotaan (pusat kota, industri, permukiman) dengan pengaruh sedang dan lemah, serta menjauhi area terdampak intrusi yang memiliki pengaruh kuat. Temuan ini menegaskan bahwa pola fenomena UHI di Kota Tegal tidak selalu mengalami peningkatan linear seiring urbanisasi, namun mengalami perubahan yang lebih dinamis akibat interaksi dari setiap perubahan tutupan lahan yang terjadi.

Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar pemerintah dalam merumuskan strategi mitigasi UHI, termasuk pengelolaan infrastruktur hijau-biru dan pengendalian lahan terbangun. Sementara itu, penelitian lebih lanjut dapat mengkaji potensi dampak iklim lain seperti fenomena intrusi air laut yang secara signifikan mengubah tutupan lahan di Kota Tegal, mengidentifikasi adanya faktor-faktor non-fisik yang mungkin berkontribusi terhadap fenomena UHI di Kota Tegal, ataupun melakukan studi perbandingan dengan kota lain yang memiliki karakteristik berbeda guna memahami perbedaan pengaruh fenomena UHI pada kota pesisir dan non-pesisir.

Ucapan Terima Kasih

Rasa syukur dan terima kasih peneliti ucapkan kepada Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, serta Pemerintah Kota Tegal atas bantuan yang diberikan dalam proses pengumpulan data. Tidak lupa, terima kasih yang tulus kepada orang tua dan teman-teman terdekat atas dukungan yang selalu diberikan.

Referensi

- [1] Harahap FR. Dampak Urbanisasi Bagi Perkembangan Kota di Indonesia. *Society* 2013;1:35–45. <https://doi.org/10.33019/society.v1i1.40>.
- [2] Lasaiba MA. The Dynamics of Land Use Change in Metropolitan Areas: The Impact of Urbanization and Sustainable Management Strategies. *JENDELA PENGETAHUAN* 2024;17:213–27. <https://doi.org/10.30598/jp17iss2pp213-227>.
- [3] Kautsar LHR. Dampak urbanisasi terhadap iklim perkotaan di Jabodetabek. Universitas Indonesia, 2018.
- [4] Dibaba WT. Urbanization-induced land use/land cover change and its impact on surface temperature and heat fluxes over two major cities in Western Ethiopia. *Environ Monit Assess* 2023;195:1083. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11698-5>.
- [5] Sejati AW, Buchori I, Rudiarto I. The Impact of Urbanization to Forest Degradation in Metropolitan Semarang: A Preliminary Study. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 2018;123:012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/123/1/012011>.
- [6] Stewart ID, Mills G. The Urban Heat Island: A Guidebook. Elsevier; 2021. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02872-0>.
- [7] Voogt JA, Oke TR. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sens Environ* 2003;86:370–84. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8).
- [8] Rupard M. Urban Heat Islands: Causes, Impacts, & Mitigation 2019.
- [9] Wibisono P. Hubungan Perubahan Tutupan Lahan dan Fenomena Urban Heat Island pada Aglomerasi Perkotaan Surakarta 2022.
- [10] Leal Filho W, editor. Handbook of Climate Change Resilience. Cham: Springer International Publishing; 2020. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93336-8>.
- [11] Nugraha ASA, Atmaja DM. Pemanfaatan Citra Penginderaan Jauh Multi-Temporal Untuk Deteksi Urban Heat Island (Uhi) Terhadap Perubahan Penggunaan Lahan Di Kabupaten Buleleng. *Majalah Ilmiah Globe* 2020;22:71–82.
- [12] Pena Acosta M, Vahdatikhaki F, Oliveira dos Santos J, Hammad A, Doree A. A generalizability analysis of a data-driven method for the Urban Heat Island phenomenon assessment, 2021. <https://doi.org/10.22260/ISARC2021/0012>.
- [13] Rudiarto I, Handayani W, Sih Setyono J. A Regional Perspective on Urbanization and Climate-Related Disasters in the Northern Coastal Region of Central Java, Indonesia. *Land (Basel)* 2018;7:34. <https://doi.org/10.3390/land7010034>.
- [14] Husna VN, Fawzi NI. Aplikasi Algoritma Normalized Difference Water Index (NDWI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dan Bare Soil Index (BSI) dalam Penilaian Kerapatan Vegetasi dan Produktivitas di Pulau Burung. *Geo-Image Journal* 2022;11:198–204.
- [15] Mardiansjah FH, Sugiri A, Ma'rif S. Peri-urbanization of small cities in Java and its impacts on paddy fields: The case of Tegal Urban Region, Indonesia. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 2021;724:012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/724/1/012023>.

- [16] Mardiansjah FH. Extended urbanization in smaller-sized cities and small town development in Java: The case of the Tegal Region. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 2020;447:012030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/447/1/012030>.
- [17] Almulaibari H. Analisis Potensi Pertumbuhan Ekonomi Kota Tegal Tahun 2004 - 2008. Universitas Diponegoro, 2011.
- [18] Faza AU, Setyono JS. Keterkaitan Konsumsi Energi Rumah Tangga dengan Karakteristik Perilaku Masyarakat di Kota Tegal. *Teknik PWK (Perencanaan Wilayah Kota)* 2018;7:33–43.
- [19] Saputra H, Rahayu S. Hubungan Tingkat Urbanisasi Dan Tingkat Ketimpangan Wilayah Di Daerah Pantura Jawa Tengah. *Teknik PWK (Perencanaan Wilayah Kota)* 2015;4:737–52.
- [20] Putri IHS, Buchori I, Handayani W. Land use change and precipitation implication to hydro-meteorological disasters in Central Java: an overview. *Int J Disaster Resil Built Environ* 2023;14:100–14. <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-12-2020-0125>.
- [21] Pramudya Y, Komariah, Dewi WS, Sumani, Mujiyo, Sukoco TA, et al. Remote sensing for estimating agricultural land use change as the impact of climate change. In: Khanbilvardi R, Ganju A, Rajawat AS, Chen JM, editors., 2016, p. 987720. <https://doi.org/10.1117/12.2223878>.
- [22] Isworo S, POERNA SRI OETARI. Mangrove vegetation and bird communities around Tegal Port, Central Java, Indonesia. *Biodiversitas* 2020;21. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210436>.
- [23] Wicaksono CSA, Sukmono A, Hadi F. Analysis of The Effect of Changes in Vegetation Composition and Build Up Area to Surface Temperature (Study Case: Tegal City). *Jurnal Geodesi Undip* 2021;10:11–20.
- [24] Saringatin S, Ramadan GF, Widiastuti EI, Arjasakusuma S. Analysis of Urban Comfort Level in Java Island Based on Air Temperature and Air Quality in 2015 – 2019. *Jurnal Geografi Gea* 2022;22:77–86. <https://doi.org/10.17509/gea.v22i1.44462>.
- [25] Fawzi NI. Mengukur Urban Heat Island Menggunakan Penginderaan Jauh, Kasus di Kota Yogyakarta. *MAJALAH ILMIAH GLOBE* 2017;19:195. <https://doi.org/10.24895/MIG.2017.19-2.603>.
- [26] Di Leo G, Sardanelli F. Statistical significance: p value, 0.05 threshold, and applications to radiomics—reasons for a conservative approach. *Eur Radiol Exp* 2020;4:18. <https://doi.org/10.1186/s41747-020-0145-y>.
- [27] Al Hakim MAY, Sasmito B, Hadi F. Analisis Pola SUHI (Surface Urban Heat Island) Kota Pesisir (Coastal City) Wilayah Pantai Utara Jawa Menggunakan Data Sentinel-3 SLSTR Multitemporal (Studi Kasus: Kabupaten Kendal dan Kabupaten Cirebon). *Jurnal Geodesi Undip* 2023;11:141–50.
- [28] Sun R, Chen L. How can urban water bodies be designed for climate adaptation? *Landsc Urban Plan* 2012;105:27–33. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.11.018>.

- [29] Steeneveld GJ, Koopmans S, Heusinkveld BG, Theeuwes NE. Refreshing the role of open water surfaces on mitigating the maximum urban heat island effect. *Landsc Urban Plan* 2014;121:92–6. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09.001>.
- [30] Ghosh S, Das A. Modelling urban cooling island impact of green space and water bodies on surface urban heat island in a continuously developing urban area. *Model Earth Syst Environ* 2018;4:501–15. <https://doi.org/10.1007/s40808-018-0456-7>.