

Hubungan antara Peningkatan Kepadatan Penduduk dan Fenomena *Urban Heat Island*: Studi Kasus Kota Cilegon, Banten, Indonesia

Endrawati Fatimah^{✉1}, Anindita Ramadhani¹, Rizal Imana¹

¹Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Arsitektur Lanskap dan Teknologi Lingkungan, Universitas Trisakti, Jakarta, Indonesia

Diunggah: 03/02/2026 | Direview: 02/03/2026 | Diterima: 19/05/2026

✉ endrawati@trisakti.ac.id

Abstrak: Kota Cilegon, yang terletak di Provinsi Banten, dikenal sebagai pusat industri baja dan petrokimia terbesar di Indonesia. Pada periode 2010 hingga 2020, kota ini mengalami perluasan industri yang pesat, dengan peningkatan luas kawasan industri lebih dari 20 Ha. Pertumbuhan industri tersebut, yang disertai dengan meningkatnya kebutuhan tenaga kerja, mendorong pertumbuhan penduduk, dan sebagai dampaknya, meningkatkan kebutuhan terhadap kawasan permukiman. Akan tetapi, perluasan wilayah permukiman tidak sejalan dengan perkembangan industri, yang peningkatan luasannya hanya sekitar 4 Ha. Ketidakseimbangan ini menunjukkan adanya proses pemadatan atau intensifikasi penduduk di dalam kawasan permukiman telah terjadi. Studi terdahulu menunjukkan bahwa efek UHI paling kuat berkembang di area permukiman. Maka, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji lebih dalam hubungan antara peningkatan kepadatan penduduk dan fenomena UHI di Kota Cilegon. Analisis spasial dilakukan menggunakan ArcGIS dan teknik penginderaan jauh untuk memetakan persebaran UHI dan kepadatan penduduk, serta analisis korelasi OLS dan Moran's I untuk menilai hubungan statistik antara keduanya. Hasil penelitian menunjukkan pola spasial UHI di kawasan permukiman tampak menonjol terutama di sepanjang jalan utama Cilegon dan bertepatan dengan area berkepadatan penduduk tinggi. Dari analisis korelasi spasial yang dilakukan diidentifikasi adanya hubungan signifikan antara kepadatan penduduk dan suhu permukaan (LST) yang mengindikasikan tingkat UHI di wilayah tersebut. Berdasarkan temuan ini, perlu dilakukan pengembangan strategi pengendalian kepadatan penduduk yang didukung oleh kebijakan penataan ruang sebagai upaya mitigasi fenomena UHI.

Kata Kunci: *Land Surface Temperature*, kepadatan penduduk, *Urban Heat Island*, kota industri.

Exploring the relation between Increasing Population Density and Urban Heat Island Phenomenon: a case study of Cilegon City, Banten, Indonesia

Abstract: Cilegon City, located in Banten Province, is recognized as Indonesia's largest center for steel and petrochemical industries. Between 2010 and 2020, the city experienced rapid industrial expansion, with industrial areas increasing by more than 20 hectares. This industrial growth, accompanied by rising labour demand, has driven population growth and, consequently, a greater need for housing. However, the residential area expansion was relatively limited, increasing by only around 4 hectares during the same period. This imbalance indicates a process of population densification or intensification within existing residential areas. Preliminary research shows that UHI effects in Cilegon City is most evident within residential areas. Therefore, this study aims to investigate the relationship between increasing population density and the occurrence of UHI in Cilegon City. ArcGIS-based spatial analysis and remote sensing methods were used to identify the distribution of UHI and population density, while correlation analysis was applied to evaluate the statistical association between both variables. The spatial pattern of UHI in residential areas is notably high along Cilegon's main roads and aligns with areas of high population density.

The results confirm a significant relationship between population density and land surface temperature (LST) that indicates the UHI status in area. Based on these findings, the study suggests that population density arrangement, supported by appropriate spatial planning policies, should be considered as an important strategy for controlling as well as reducing the impacts of UHI in Cilegon City.

Keywords: Land Surface Temperature, Population Density, Urban Heat Island, kota industri

1. Latar Belakang

Urban heat island (UHI) merupakan suatu fenomena meningkatnya suhu di perkotaan sehingga kawasan kota memiliki suhu yang lebih panas dibandingkan sekitarnya (Larasati, Rahman dan Kautsary, 2022; Rosantiningsih dan Yola, 2023; Muliadi, Nugraha dan Dalilla, 2024). Fenomena ini banyak ditemukan di berbagai Kawasan perkotaan dan telah dikenal luas sebagai salah satu karakteristik iklim perkotaan yang paling menonjol.

Terbentuknya UHI dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berkaitan. Penelitian-penelitian terdahulu menyebutkan bahwa *urban heat island* dipengaruhi oleh ekspansi perkotaan, lahan terbangun dan aktifitas manusia. (Mahmood, Hasan dan kulsum, 2025). Menurut Bhargava, Lakmini dan Bhargava (2017), faktor penyebab kenaikan suhu permukaan secara umum dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu eksternal dan internal. Faktor eksternal mencakup kondisi lokasi, iklim, suhu makro, radiasi sinar matahari, kelembaban relatif, arah dan kecepatan angin (Jabbar et al, 2023). Sementara faktor internal berkaitan dengan pola penggunaan lahan dan aktivitas manusia (Satryo, Ramdhan, dan Cerlandita, 2021). Permukaan lahan yang berubah dari tanah dan vegetasi menjadi permukaan yang ditutupi semen, beton atau aspal menyebabkan peningkatan suhu karena material ini akan menyerap dan menyimpan panas (Bhargava, Lakmini dan Bhargava, 2017). Faktor geometri kota (*urban geometry*) seperti ukuran bangunan, ketinggian dan kerapatan antar bangunan juga akan mempengaruhi suhu karena berdampak pada aliran dan kecepatan angin, energi panas yang diabsorpsi maupun emisi yang yang ditimbulkan (Jabbar et al, 2023). Bangunan tersebut berperan sebagai penghalang aliran angin dan kecepatan angin menjadi berkurang sehingga akan mengurangi konveksi panas di permukaan ke udara atau dengan kata lain panas akan lebih banyak tersimpan di permukaan. (Jabbar et al, 2023). Aktivitas yang intensif pada kawasan perkotaan seperti penggunaan kendaraan bermotor, barang elektronik, pendingin udara, kegiatan penggunaan energi lainnya juga menjadi faktor yang mempengaruhi fenomena UHI karena melepaskan panas langsung ke lingkungan (Muliadi, Nugraha dan Dalilla, 2024).

UHI menjadi isu penting dalam bidang perencanaan kota karena dampaknya cukup luas, terutama terhadap penurunan kualitas udara, kenyamanan dan kesehatan manusia, peningkatan konsumsi energi, serta potensi kontribusinya terhadap perubahan iklim di masa mendatang (Putra, Sukmono dan Sasmito, 2018; Putra, Ramadhani dan Fatimah, 2021). Laju urbanisasi yang tinggi, yang ditandai oleh terjadinya ekspansi lahan terbangun untuk permukiman dan industri, menjadi salah satu penyebab meningkatnya intensitas fenomena UHI (Putra, Sukmono dan Sasmito, 2018).

Kota Cilegon diambil sebagai studi kasus dalam penelitian ini dengan mempertimbangkan bahwa kota Cilegon yang saat ini memiliki jumlah penduduk 455 ribu jiwa dengan pertumbuhan penduduk sekitar 1,46% per tahun, merupakan kota industri berat. Bahkan kota Cilegon merupakan kota yang menjadi pusat industri baja dan petrokimia terbesar di Indonesia. Penelitian terdahulu di Kota Cilegon dengan data tahun 2010 dan 2020, menunjukkan bahwa UHI terjadi utamanya terkait dengan kawasan industri dan meluas ke kawasan permukiman (Taufiqurrahman, 2025). Selama dekade ini, lahan industri tumbuh pesat dari 25,25 ha (15,72%) menjadi 46,63 ha (28,68%) didorong oleh peran kota sebagai kota industri. Namun, lahan permukiman hanya meningkat dari 36,40 ha (22,39%) menjadi 40,13 ha (24,68%), yang menunjukkan peningkatan kepadatan penduduk di dalam kawasan permukiman yang ada.

Peningkatan kepadatan tersebut meningkatkan ketidaknyamanan termal dan tekanan lingkungan, termasuk polusi udara dan berkurangnya kenyamanan termal perkotaan (Rosantiningsih & Yola, 2023), sekaligus meningkatkan risiko penyakit akibat panas (Bhargava dkk., 2017; Jabbar dkk., 2023; Wang dkk., 2023; Muliadi dkk., 2024). Dilatar belakangi hal tersebut ini, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji hubungan antara peningkatan kepadatan penduduk dan fenomena UHI di Kota Cilegon pada periode 2010–2020. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam penyusunan strategi mitigasi guna mengendalikan perluasan UHI di kawasan permukiman.

2. Metode

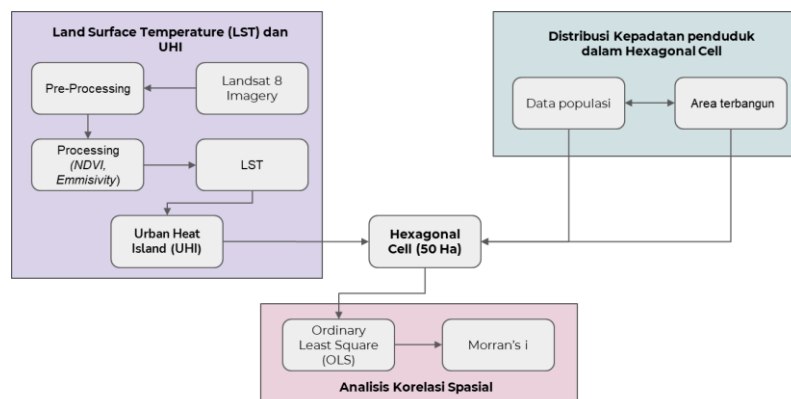
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan tujuan menguji teori secara objektif melalui analisis hubungan antar variabel. Dalam pendekatan ini, setiap variabel dinyatakan dalam bentuk data terukur sehingga dapat diolah dan dianalisis menggunakan prosedur statistik. Variabel yang dikaji meliputi kepadatan penduduk dan suhu permukaan (LST). Kedua variabel tersebut bersumber dari data sekunder tahun 2010 dan 2020 yang mencakup data luas wilayah desa, jumlah penduduk desa, penggunaan lahan serta suhu permukaan.

2.1. Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan bersumber dari data BPS, Kota Cilegon dalam Angka 2010 dan 2020, serta peta citra satelit landsat 8 OLI yang memiliki resolusi spasial 30-meter (LANDSAT/LC08/C01/T1_SR) dengan seri *Surface Reflectance*. Dataset tersebut sudah terkoreksi secara atmosferik, geometrik dan radiometrik. Akuisisi data dilakukan pada bulan Juli-September 2010 dan 2020, pemilihan bulan dikarenakan bulan tersebut musim kering untuk menghindari tutupan awan yang tebal.

2.2. Metode Analisis

Metode analisis yang digunakan adalah analisis spasial dan analisis statistik. Metode analisis spasial digunakan untuk mengidentifikasi distribusi spasial sebaran kepadatan penduduk dan sebaran suhu permukaan (LST). Sementara, metode analisis statistik yang digunakan adalah metode analisis Ordinary Least Square (OLS) dan Global Morans'I. Keseluruhan proses analisis dilakukan dengan menggunakan aplikasi Arc GIS dengan kerangka alur analisis sebagaimana dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Alur Analisis

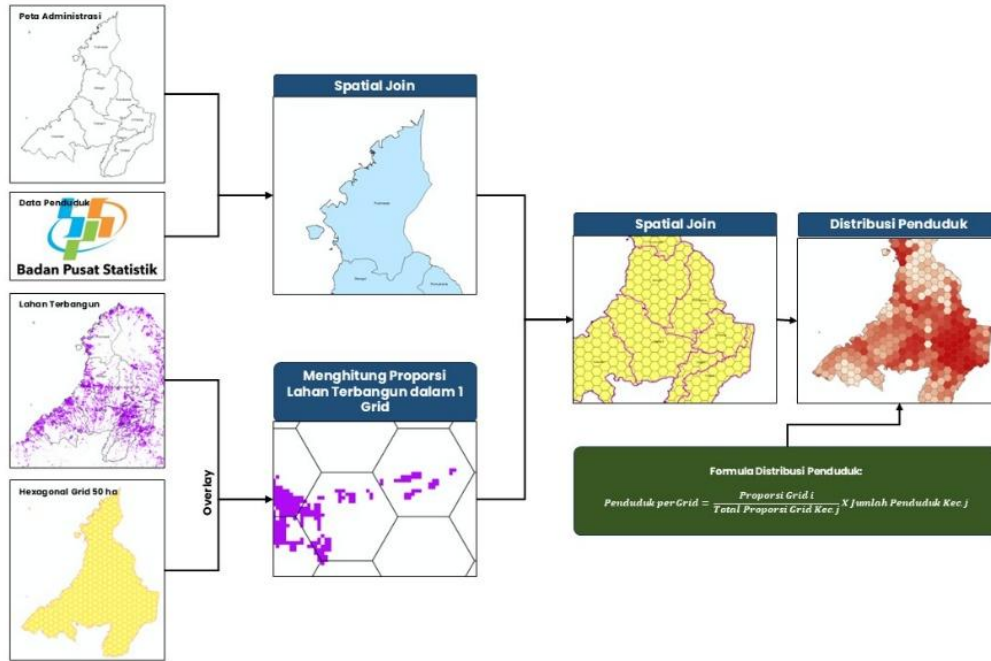
Kajian mengenai kepadatan penduduk dan *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Cilegon dilakukan dengan membagi wilayah penelitian ke dalam grid berbentuk heksagon dengan ukuran masing-masing 50 hektar. Metode ini digunakan karena setiap unit memiliki bentuk dan ukuran yang seragam, sehingga pola sebaran spasial dapat dibaca secara lebih seimbang dibandingkan jika menggunakan batas administrasi. Selain itu, grid heksagon membantu mengurangi potensi bias akibat perbedaan luas dan bentuk wilayah.

Tahapan analisis yang dilakukan diawali dengan proses identifikasi distribusi spasial persebaran kepadatan penduduk yang dipresentasikan dalam bentuk hexagonal cell. Tahapan selanjutnya adalah mengidentifikasi LST dan UHI yang juga dipresentasikan dalam bentuk *hexagonal cell*. Tahap akhir adalah melakukan uji korelasi secara statistik antara kedua variabel tersebut. Secara lebih rinci, metode analisis untuk setiap tahapan dalam dijelaskan sebagai berikut:

2.2.1. Metode Distribusi Spasial Persebaran Kepadatan Penduduk dengan *Hexagonal Cell*

Metode spasial distribusi penduduk menggunakan data sensus penduduk yang masih menggunakan batas administrasi desa/kelurahan dan data lahan terbangun (permukiman). Data tersebut dikombinasikan ke dalam heksagonal dengan cara menghitung persentase lahan terbangun (permukiman) yang ada dalam grid heksagonal

dan dikalikan dengan jumlah penduduk yang sudah didistribusikan dari batas administrasi ke dalam sistem grid (European Commission, 2021; Fatimah, Ramadhani dan Imana, 2023; Fatimah, Yanidar dan Jayanti, 2024). Penggunaan heksagonal sebagai sel untuk analisis dikarenakan sel grid heksagonal memiliki banyak keunggulan dibandingkan sel grid persegi. Heksagon adalah polygon yang beraturan yang paling padat dan dapat mengisi bidang datar (*tile the plane*), serta sel heksagonal menunjukkan kedekatan (*adjacency*) yang seragam dan tidak ambigu (Stough et al.2020). Dalam penelitian ini untuk menghitung kepadatan penduduk menggunakan heksagon 50 hektar, hal tersebut untuk mempermudah perhitungan dan visualisasi. Tahapan analisis distribusi spasial persebaran penduduk dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Identifikasi Distribusi Penduduk dalam Grid Hexagonal
Sumber: Fatimah, Ramadhani dan Imana, 2023

2.2.2. Metode perhitungan dan distribusi spasial LST dan UHI

Perhitungan UHI menggunakan pendekatan *land surface temperature* (LST). LST berfungsi sebagai indikator panas. Tools tersebut memiliki korelasi erat dengan pertumbuhan vegetasi, hasil panen, sirkulasi air permukaan, urbanisasi, fenomena dan proses alam lainnya, serta aktivitas manusia (Sobrino et al., 2004; Imana, Pravitasari dan Pribadi, 2025). Oleh karena itu, LST dimanfaatkan sebagai indeks panas untuk mencerminkan kondisi lingkungan seperti *Urban Heat Island* (UHI). Persamaan algoritma yang digunakan untuk menghitung LST (Li et al., 2021; Imana, Pravitasari dan Pribadi, 2025) yaitu:

$$LST = \frac{T_{sensor}}{\left[1 + \left(\lambda \frac{T_{sensor}}{\rho}\right) \ln \varepsilon\right]}$$

$$\varepsilon = \begin{cases} 0.995 & (NDVI \leq 0) \\ 0.970 & (0 < NDVI \leq 0.157) \\ 0.986 & (NDVI > 0.727) \\ 1.0094 + 0.047 \ln_{NDVI} & (0.157 < NDVI \leq 0.727) \end{cases}$$

$$T_{sensor} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

$$L_\lambda = Gain \times DN + Bias$$

Dimana:

- λ = panjang gelombang cahaya yang dipancarkan (11.43 μm untuk band 6 dari Landsat 5 and 10.9 μm untuk band 10 dari Landsat 8);
 ρ = konstanta ($1.438 \times 10^{-2} \text{ m K}$);
 ε = emisivitas permukaan tanah;
 T_{sensor} = suhu kecerahan satelit dalam satuan Kelvin;
 $K\lambda$ = sensor spectral radiance;
 Gain dan Bias = band gain dan nilai offset;
 DN = angka digital yang dipikselkan;
 K1 dan K2 = parameter kalibrasi (Li et al., 2021).

Hasil perhitungan dan distribusi spasial LST dipresentasikan untuk masing-masing hexagonal yang sama dengan hexagonal kepadatan penduduk. Tahap selanjutnya adalah penetapan batas suhu LST yang terklasifikasi sebagai area UHI dan non-UHI. Klasifikasi tersebut berdasarkan ambang batas UHI yang membedakan antara zona UHI dan zona non-UHI. Untuk menentukan ambang batas suhu UHI digunakan persamaan berikut (Fawzi, 2017 dan Muliadi, Nugraha dan Dalila, 2024)

$$T_{UHI} > \mu + 0.5 \alpha$$

$$0 < T_{NON-UHI} \leq \mu + 0.5 \alpha$$

Dimana:

- μ = rata-rata LST
 α = standar deviasi LST

2.2.3. Metode Korelasi *Ordinary Least Square* (OLS) dan *Global Morans'i*

Metode OLS dan Moran's I digunakan untuk mengetahui korelasi yang terjadi antara kepadatan penduduk terhadap kenaikan suhu permukaan. Metode OLS tidak dapat secara langsung memberikan gambaran korelasi, perlu dilanjutkan uji statistik menggunakan Moran's I untuk mengetahui korelasi secara spasial. OLS adalah metode yang paling umum untuk mendeskripsikan keterhubungan antara variabel dependen dan independen dengan menggunakan model regresi linear (Permai, dan Tanty, 2018). Metode analisis regresi linear secara umum sebagai berikut (Fairuzdhiya et al., 2014).

$$\gamma = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon$$

Parameter β_j menyatakan rata-rata perubahan γ akibat perubahan satu unit X_j . Variabel respon (Y) dalam penelitian ini yaitu suhu permukaan dan variabel prediktor (X) yaitu kepadatan penduduk. Model tersebut kemudian, digunakan untuk dasar dalam penentuan *spatial autocorrelation* menggunakan Moran's I. Metode tersebut digunakan untuk menguji autokorelasi antar Lokasi-lokasi. Morans'I menghitung perbedaan rata-rata nilai dari semua atribut dan perbedaan nilai atribut pada setiap cell yang berdekatan dengan mengacu pada nilai rata-rata. Perhitungan dilakukan dengan formula (Anggani et al., 2023):

$$I = \frac{n}{\sum i \sum j w_{ij}} \frac{\sum i \sum j ((X_i - \bar{x})(X_j - \bar{x}))}{\sum i \sum j w_{ij}}$$

Dimana,

I = penilaian Moran's I ;

N = jumlah Lokasi/grid;

X_i = penilaian Lokasi i ;

X_j = penilaian Lokasi j ;

$\bar{x}$ = perhitungan rata-rata variable;

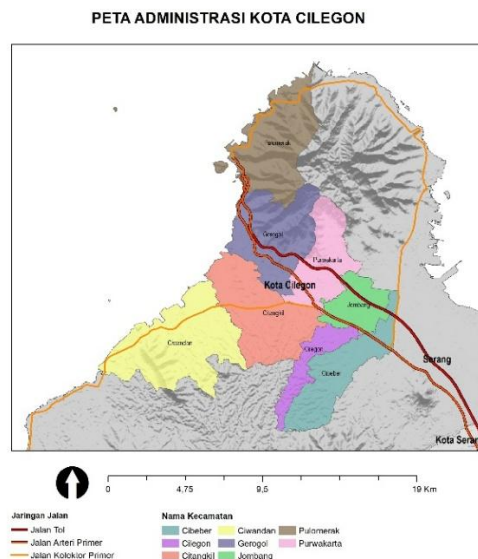
W_{ij} = elemen pembobot antara wilayah i dan j .

Penilaian akhir terhadap Moran's I digunakan untuk menentukan indikasi pola keterhubungan secara spasial terhadap atribut yang diuji. Bentuk pola tersebut yaitu jika moran's I lebih dari 0 maka indikasi keterhubungannya Adalah cluster, morans's dengan nilai $I < 0$ mengindikasikan pola keterhubungan random, dan $I = 0$ mengindikasikan pola keterhubungan spread (Anggani et al., 2023).

3. Hasil dan Pembahasan

Kota Cilegon merupakan salah satu kota industri utama di Provinsi Banten yang memiliki peran strategis dalam pengembangan sektor industri nasional, khususnya industri baja dan petrokimia. Keberadaan kawasan industri besar seperti PT Krakatau Steel menjadikan Kota Cilegon dikenal sebagai "Kota Baja" sekaligus pusat pertumbuhan ekonomi berbasis industri di wilayah barat Pulau Jawa. Secara administratif, kota Cilegon mencakup wilayah dengan luas 163,45 km² dan terdiri dari 8 (delapan) kecamatan yaitu kecamatan Cilegon, Ciwadan, Citangkil, Cibeber, Grogol, Jombang, Pulomerak, dan Purwakarta. Pusat kota terletak di kecamatan Cilegon. Kota ini dilalui oleh dua jalan nasional yang menghubungkan antara Pulau Jawa dan Pulau Sumatera yaitu Jalan Arteri Primer Jalan Raya Merak dan Jalan Tol Trans Jawa. Gambar 3. menunjukkan lokasi dari masing-masing kecamatan.

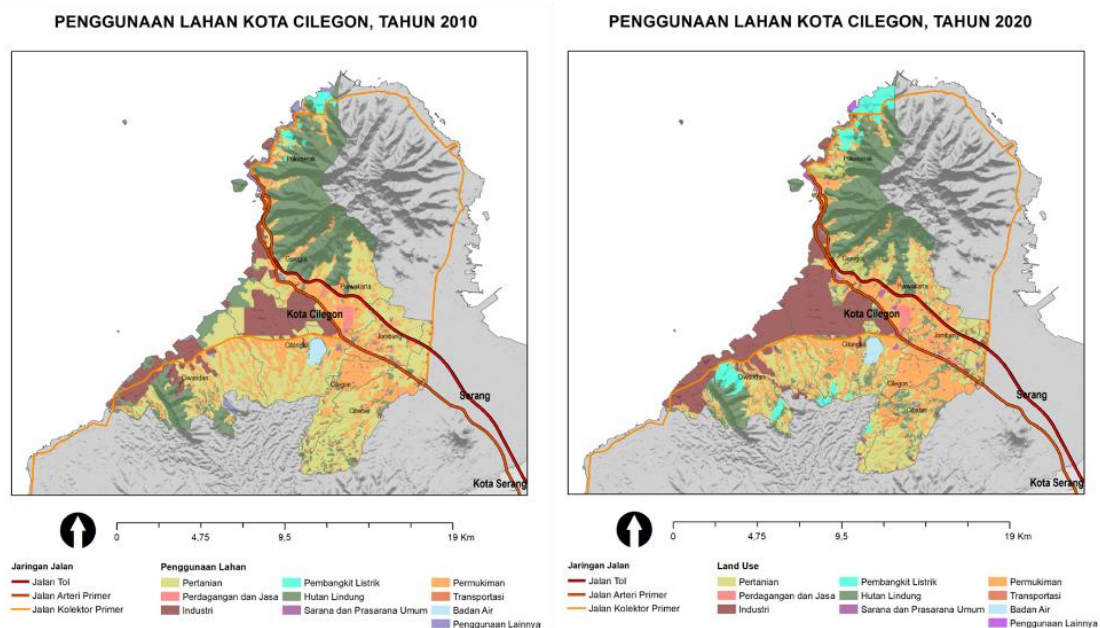
Dominasi sektor industri tercermin dari dominasi kontribusi sektor industri pengolahan terhadap perekonomian daerah yang mencapai lebih dari separuh Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Kota Cilegon. Arah pengembangan tersebut juga diperkuat dalam dokumen perencanaan wilayah Provinsi Banten (RTRW, RPJMD, dan RPJPD) yang berlaku hingga tahun 2043, yang menempatkan Kota Cilegon sebagai kawasan prioritas pengembangan industri, perdagangan, dan jasa berskala regional. Kebijakan tata ruang tersebut secara tidak langsung mendorong intensitas pembangunan kawasan industri dan kawasan perkotaan di Kota Cilegon selama beberapa dekade terakhir. Hal tersebut juga dapat dilihat dari pola penggunaan lahan pada Gambar 4.



Gambar 3. Penggunaan Lahan Kota Cilegon tahun 2010 dan 2020

Orientasi pembangunan ke arah kota industri tercermin pada pola penggunaan lahan Kota Cilegon tahun 2010 dan 2020 sebagaimana terlihat pada Gambar 4. Pada tahun 2010, struktur penggunaan lahan Kota Cilegon masih menunjukkan komposisi yang relatif seimbang antara kawasan industri, permukiman, pertanian, dan kawasan lindung. Kawasan industri telah berkembang cukup dominan di bagian barat dan selatan kota, terutama di Kecamatan Ciwandan dan Citangkil yang menjadi pusat industri baja, kimia, dan petrokimia. Luas kawasan industri tahun 2010 adalah sebesar 2639 ha (16,23%). Sementara, kawasan permukiman berkembang di sekitar pusat kota dan mengikuti koridor jalan utama, khususnya di Kecamatan Cilegon, Jombang, Purwakarta, dan sebagian Citangkil, dengan luas 3263 ha (20,07%). Sementara itu, wilayah utara Kota Cilegon masih didominasi oleh kawasan hijau, area lindung, serta lahan pertanian yang berfungsi sebagai penyangga ekologis kota. Pola ini menunjukkan bahwa pada tahun 2010 perkembangan kawasan terbangun masih terkonsentrasi pada pusat aktivitas industri dan jaringan transportasi utama.

Memasuki tahun 2020, terlihat adanya perubahan pola ruang yang cukup signifikan. Kawasan industri mengalami ekspansi yang cukup besar, terutama ke arah barat kota di wilayah Kecamatan Citangkil dan Grogol. Perluasan ini tampak jelas dari meningkatnya dominasi area industri pada peta penggunaan lahan tahun 2020 yang mencapai 4672 ha (28,73%). Pertumbuhan kawasan industri menunjukkan semakin kuatnya orientasi ekonomi Kota Cilegon terhadap sektor manufaktur dan industri berat. Di sisi lain, perkembangan kawasan permukiman juga mengalami perluasan, terutama ke arah tenggara dan timur kota mengikuti perkembangan jaringan jalan arteri primer dan pusat-pusat kegiatan ekonomi baru. Di tahun 2020, luas permukiman berkembang menjadi 4009 ha (24,66%). Kecamatan Cibeber menjadi salah satu wilayah yang menunjukkan perkembangan kawasan permukiman cukup pesat. Peningkatan luas permukiman tidak berlangsung secepat pertumbuhan kawasan industri, sehingga perkembangan kota cenderung memicu pemadatan penduduk pada kawasan hunian yang sudah berkembang sebelumnya.



Gambar 4. Penggunaan Lahan Kota Cilegon tahun 2010 dan 2020

Kota Cilegon memiliki kawasan hutan yang dilindungi yang terhampar di bagian utara dengan luasan mencakup hampir 30% luas kota. Urbanisasi terutama untuk kegiatan industri dan permukiman pada akhirnya berdampak pada berkurangnya area pertanian dan kawasan hijau, terutama pada wilayah tengah kota yang mengalami konversi menjadi kawasan terbangun. Selama satu dekade, luasan kawasan pertanian berkurang dari 4987 ha (30,67%) menjadi hanya 2221 ha (13,66%). Pergeseran fungsi lahan ini menunjukkan adanya tekanan kebutuhan ruang akibat pertumbuhan industri, peningkatan aktivitas ekonomi, dan bertambahnya kebutuhan hunian bagi tenaga kerja. Selain itu, perkembangan kawasan terbangun yang mengikuti koridor jalan utama memperlihatkan

adanya kecenderungan *urban sprawl* dengan pola linear yang dipengaruhi aksesibilitas transportasi. Kondisi ini tidak hanya memengaruhi struktur ruang kota, tetapi juga berpotensi meningkatkan tekanan lingkungan perkotaan, seperti berkurangnya daya dukung ekologis, meningkatnya dominasi permukaan kedap air, serta meningkatnya suhu permukaan dan fenomena Urban Heat Island (UHI) di Kota Cilegon.

3.1. Analisis Distribusi kepadatan penduduk dan UHI Kota Cilegon tahun 2010 dan 2020

Pada penelitian ini, wilayah Kota Cilegon terbagi menjadi 404 grid heksagon, dengan luas tiap grid sebesar 50 hektare. Setiap grid berfungsi sebagai unit analisis untuk membandingkan kondisi antarbagian wilayah. Grid yang sama diterapkan pada data kepadatan penduduk dan UHI/LST, sehingga kedua variabel dianalisis pada skala ruang yang setara. Dengan cara ini, hubungan spasial antara kepadatan penduduk dan UHI dapat dikaji secara lebih konsisten dan menggambarkan kondisi wilayah secara lebih objektif.

3.1.1 Distribusi Kepadatan Penduduk

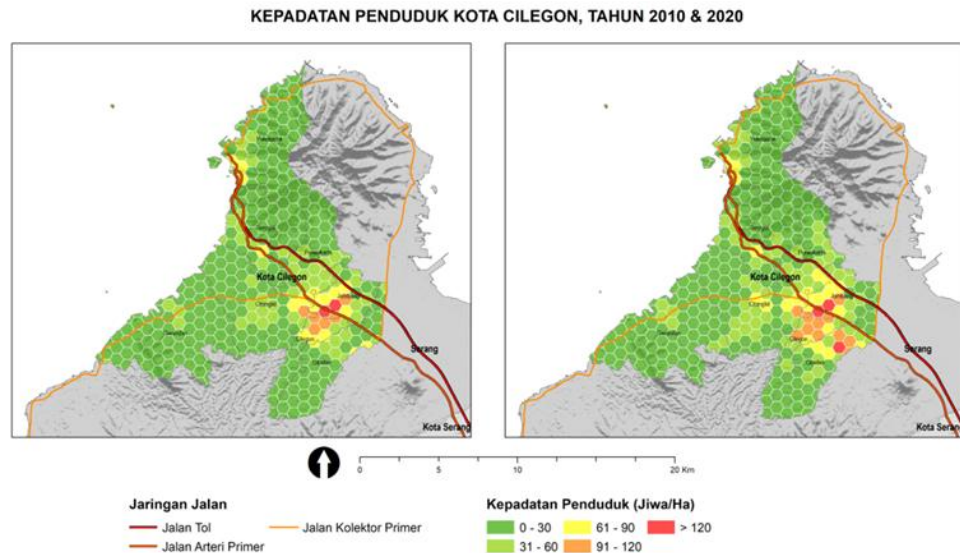
Pada gambar 5 ditunjukkan hasil analisis kondisi kepadatan penduduk Kota Cilegon pada tahun 2010 masih didominasi oleh wilayah dengan kategori kepadatan sangat rendah (<30 jiwa/ha). Luasan kategori ini mencapai sekitar 12.426 hektare atau sebagian besar wilayah kota. Area dengan kepadatan menengah hingga tinggi masih relatif terbatas dan umumnya terkonsentrasi di kawasan pusat kota serta sepanjang koridor jalan utama yang memiliki aksesibilitas tinggi. Secara spasial, konsentrasi kepadatan penduduk pada tahun 2010 terutama berada di Kecamatan Cilegon, Jombang, Citangkil, dan sebagian Purwakarta yang berfungsi sebagai pusat aktivitas ekonomi dan pelayanan kota. Sementara itu, wilayah bagian utara dan sebagian barat kota masih didominasi kawasan dengan kepadatan rendah karena karakteristik lahannya berupa kawasan lindung, perbukitan, serta area industri dan pertanian yang belum berkembang menjadi kawasan permukiman intensif. Pola ini menunjukkan bahwa struktur permukiman Kota Cilegon pada tahun 2010 masih bersifat relatif menyebar (*urban dispersion*) dan belum mengalami tekanan urbanisasi yang terlalu tinggi.

Memasuki tahun 2020, terjadi perubahan pola distribusi kepadatan penduduk yang cukup signifikan. Area dengan kategori kepadatan rendah (<30 jiwa/ha) mengalami penurunan luas menjadi sekitar 11.252 hektare atau 69,2% dari total luas kota. Sebaliknya, wilayah dengan kategori kepadatan rendah-menengah hingga tinggi mengalami peningkatan cukup besar. Luas area berkepadatan 31–60 jiwa/ha meningkat menjadi sekitar 3.304,9 hektare atau 20,3% luas kota, sementara kategori kepadatan 61–90 jiwa/ha, 91–120 jiwa/ha, hingga >120 jiwa/ha juga menunjukkan pertumbuhan yang cukup signifikan dibandingkan tahun 2010. Peningkatan kepadatan ini menunjukkan adanya proses intensifikasi penduduk pada kawasan-kawasan yang sebelumnya telah berkembang sebagai pusat aktivitas kota. Secara spasial, peningkatan kepadatan paling jelas terlihat pada wilayah pusat dan barat Kota Cilegon, terutama di Kecamatan Cilegon, Citangkil, Cibeber, dan Jombang. Area-area tersebut berkembang menjadi pusat konsentrasi penduduk baru akibat meningkatnya aktivitas ekonomi dan industrialisasi yang mendorong kebutuhan hunian bagi tenaga kerja.

Perubahan pola kepadatan penduduk tersebut menunjukkan adanya hubungan yang erat antara perkembangan industri dengan dinamika urbanisasi di Kota Cilegon. Pertumbuhan kawasan industri, khususnya industri baja, kimia, dan petrokimia, mendorong meningkatnya arus tenaga kerja masuk ke Kota Cilegon yang pada akhirnya meningkatkan kebutuhan terhadap kawasan permukiman. Namun, pertumbuhan lahan permukiman tidak berlangsung secepat pertumbuhan penduduk dan aktivitas industri. Kondisi ini menyebabkan terjadinya pemadatan pada kawasan hunian yang telah berkembang sebelumnya, terutama di wilayah yang memiliki akses langsung terhadap kawasan industri dan jaringan jalan utama. Koridor jalan arteri yang menghubungkan Kota Cilegon dengan Kota Serang menjadi salah satu akses utama dalam pola perkembangan permukiman dan distribusi kepadatan penduduk.

Secara umum, hasil analisis pada gambar 5 menunjukkan bahwa meskipun hingga tahun 2020 Kota Cilegon masih didominasi oleh wilayah berkepadatan rendah, namun telah terjadi peningkatan signifikan pada kawasan dengan

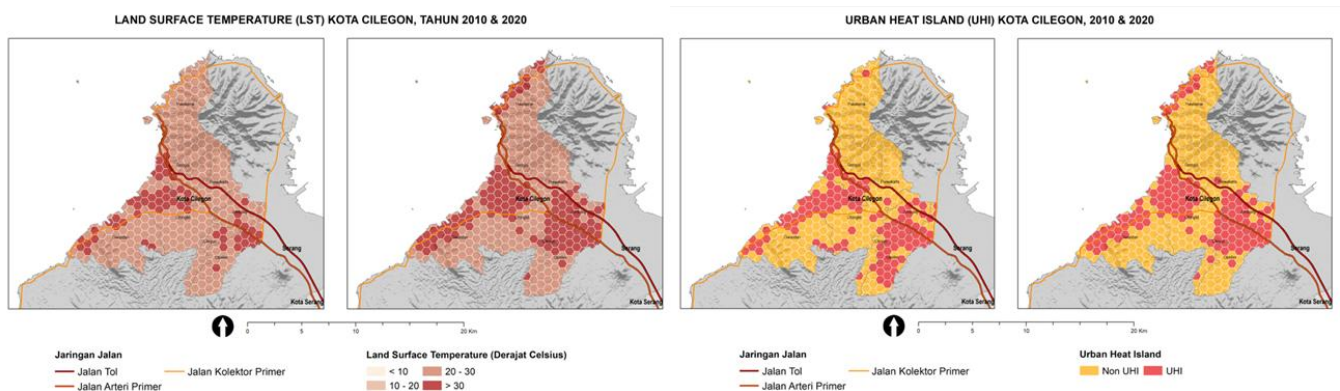
kepadatan menengah hingga tinggi. Perubahan ini menandakan terjadinya proses urbanisasi dan intensifikasi ruang perkotaan yang semakin kuat selama satu dekade terakhir. Pergeseran pola kepadatan penduduk tersebut berpotensi memengaruhi kualitas lingkungan perkotaan, terutama terkait meningkatnya tekanan terhadap infrastruktur, kebutuhan lahan, konsumsi energi, serta peningkatan suhu permukaan perkotaan (Lee, dkk, 2020). Oleh karena itu, distribusi kepadatan penduduk menjadi salah satu faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan tata ruang dan strategi mitigasi fenomena *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Cilegon.



Gambar 5. Distribusi Kepadatan Penduduk Kota Cilegon tahun 2010 dan 2020

3.1.2 Distribusi UHI

Fenomena UHI Kota Cilegon diidentifikasi berdasarkan hasil identifikasi suhu permukaan (LST). Rata-rata LST tahun 2010 adalah sebesar 27,45 °C dengan standard deviasi (Sd) 3,12 °C, sementara di tahun 2020 meningkat menjadi 28,20 °C dengan Sd sebesar 3,17 °C. Dengan persamaan yang ada, maka ambang batas UHI terhitung untuk tahun 2010 adalah sebesar > 29,01 °C dan tahun 2020 sebesar 29,78 °C yang kemudian digunakan untuk mengklasifikasikan area UHI dan non UHI berdasarkan suhu permukaan. Distribusi LST dan area UHI/non-UHI di Kota Cilegon pada dua periode penelitian ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Distribusi LST dan area UHI Kota Cilegon tahun 2010 dan 2020

Peta *Land Surface Temperature* (LST) Kota Cilegon tahun 2010 dan 2020 menunjukkan adanya peningkatan suhu permukaan yang sangat signifikan selama periode satu dekade. Pada tahun 2010, distribusi suhu tinggi ($>30^{\circ}\text{C}$) sudah terlihat terkonsentrasi pada kawasan tengah dan selatan kota, terutama di sekitar pusat aktivitas perkotaan, kawasan industri, serta koridor jalan utama yang menghubungkan Kota Cilegon dengan wilayah sekitarnya. Berdasarkan pola persebaran pada peta, area bersuhu tinggi membentuk klaster-klaster panas yang mengikuti perkembangan kawasan terbangun dan jalur transportasi utama. Sementara itu, wilayah utara kota yang masih didominasi kawasan lindung dan vegetasi pegunungan menunjukkan suhu permukaan yang relatif lebih rendah. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sejak tahun 2010 aktivitas urbanisasi dan industrialisasi terkait dengan peningkatan suhu permukaan di Kota Cilegon.

Pada tahun 2020, pola distribusi suhu tinggi mengalami perluasan yang jauh lebih masif dibandingkan tahun 2010. Area dengan suhu permukaan $>30^{\circ}\text{C}$ meluas hampir ke seluruh bagian tengah, barat daya, dan sebagian timur kota. Hal ini terlihat dari dominasi sel heksagonal berwarna merah yang semakin banyak dan tersebar lebih merata pada peta LST tahun 2020. Luasan area bersuhu tinggi meningkat hampir dua kali lipat, dari 2.825,78 hektare (17,4% luas kota) pada tahun 2010 menjadi 5.801,43 hektare (35,7% luas kota) pada tahun 2020. Perubahan ini menunjukkan bahwa peningkatan suhu permukaan tidak hanya terjadi pada pusat kota, tetapi mulai menyebar ke kawasan pinggiran yang mengalami perkembangan kawasan terbangun. Pola tersebut menunjukkan sejalan dengan intensifikasi kepadatan penduduk (gambar 5) yang ditandai dengan meningkatnya kawasan permukiman, infrastruktur jalan, dan aktivitas industri (gambar 4).

Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) menunjukkan pola perkembangan yang sejalan dengan perubahan suhu permukaan tersebut. Pada tahun 2010, area UHI terutama muncul pada kawasan permukiman padat dan kawasan industri di wilayah tengah dan selatan Kota Cilegon. Berdasarkan peta UHI, area dengan klasifikasi UHI membentuk konsentrasi utama di sekitar pusat kota, kawasan industri baja dan petrokimia, serta koridor jalan utama yang memiliki intensitas aktivitas manusia dan transportasi tinggi. Namun, pada tahun 2020, area UHI mengalami perluasan yang cukup signifikan ke arah barat, tenggara, dan sebagian timur kota, mencakup wilayah yang sebelumnya tergolong non-UHI. Secara umum, fenomena UHI mengalami perluasan dari 5.422,05 hektare (33,4% luas kota) pada tahun 2010 menjadi 6.099,45 hektare atau mencakup 37,5% luas kota pada tahun 2020. Peningkatan jumlah sel UHI menunjukkan bahwa tekanan panas perkotaan di Kota Cilegon semakin intens dan meluas selama 10 tahun terakhir, terutama pada kawasan dengan perkembangan distribusi kepadatan penduduk dan pemanfaatan lahan industri yang tinggi.

Meskipun secara umum area UHI mengalami peningkatan, beberapa wilayah menunjukkan fenomena yang berbeda. Kecamatan Cibeer dan bagian selatan Kecamatan Citangkil mengalami perubahan dari area yang sebelumnya terklasifikasi sebagai UHI pada tahun 2010 menjadi non-UHI pada tahun 2020. Kondisi ini antara lain dikarenakan oleh meningkatnya nilai ambang batas UHI sebesar $0,78^{\circ}\text{C}$, sementara suhu permukaan di kawasan tersebut relatif tetap. Selain itu, dari penggunaan lahannya (gambar 4) dan distribusi kepadatan penduduk (gambar 5) perubahan di wilayah ini dari tahun 2010-2020 tidak berlangsung seintensif pusat kota dan masih didominasi oleh ruang terbuka hijau.

3.2. Analisis Hubungan antara Kepadatan Penduduk dan UHI Kota Cilegon 2010 dan 2020

Hubungan antara Kepadatan Penduduk dan UHI Kota Cilegon 2010 dan 2020 dianalisis dengan menggunakan metode OLS dan Moran's I. OLS digunakan untuk mengukur tingkat pengaruh kepadatan penduduk sebagai variabel bebas terhadap fenomena UHI sebagai variabel terikat. Hasil OLS menunjukkan dua komponen utama yaitu besaran pengaruh variabel kepadatan penduduk terhadap UHI dan nilai residu yang tidak dapat dijelaskan oleh model. Sementara itu, Moran's I digunakan untuk menilai validitas model secara spasial. Dalam kaitannya dengan OLS, Moran's I berfungsi untuk menguji apakah residual yang dihasilkan oleh model OLS tersebut secara acak atau membentuk pola pengelompokan spasial tertentu.

3.2.1 Analisis OLS

Analisis *Ordinary Least Square* (OLS) dilakukan untuk mengidentifikasi hubungan kepadatan penduduk terhadap suhu permukaan lahan sebagai indikator fenomena UHI. Hasil analisis OLS dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis OLS

Parameter	Nilai	Interpretasi
Intercept	27,04	Nilai dasar suhu permukaan ketika kepadatan = 0
Koefisien KP2020	0,0505	Setiap peningkatan 1 satuan kepadatan penduduk menaikkan suhu permukaan sekitar 0,05°C
Nilai p (Prob)	0,000000*	Hubungan sangat signifikan secara statistik ($p < 0,01$)
R ²	0,1694	Sekitar 16,9% variasi suhu permukaan dijelaskan oleh kepadatan penduduk
Koenker (BP) Test	$p = 0,099$ ($>0,05$)	Tidak ada indikasi kuat heteroskedastisitas (model cukup stabil)
Jarque-Bera	$p = 0,000$	Residual tidak berdistribusi normal, menunjukkan potensi bias model
F-statistic	signifikan ($p < 0,01$)	Model secara keseluruhan signifikan

Hasil analisis OLS pada tabel 1 menunjukkan bahwa kepadatan penduduk memiliki hubungan positif dan signifikan terhadap peningkatan suhu permukaan di Kota Cilegon. Model memperlihatkan bahwa semakin tinggi kepadatan penduduk pada suatu wilayah, maka suhu permukaan cenderung meningkat. Dengan kata lain, kawasan yang semakin padat cenderung memiliki akumulasi panas yang lebih besar dibandingkan wilayah dengan kepadatan rendah. Selain menunjukkan hubungan yang signifikan secara statistik, model juga mampu menjelaskan sebagian variasi suhu permukaan di Kota Cilegon. Meskipun demikian, besarnya pengaruh yang dijelaskan oleh model masih tergolong rendah dengan nilai R² 0,17, sehingga mengindikasikan bahwa fenomena peningkatan suhu permukaan tidak hanya dipengaruhi oleh kepadatan penduduk, tetapi juga oleh faktor lain. Hasil uji Koenker menunjukkan bahwa model cukup stabil dan tidak memiliki indikasi kuat heteroskedastisitas, sehingga hubungan yang terbentuk dapat dianggap konsisten pada wilayah penelitian. Namun, hasil uji Jarque-Bera memperlihatkan bahwa residual model tidak berdistribusi normal, yang mengindikasikan masih adanya faktor-faktor lain di luar model yang turut memengaruhi distribusi suhu permukaan secara spasial di Kota Cilegon.

3.2.2 Analisis Moran's I

Teknik analisis ini digunakan untuk menguji apakah residual (sisa error) dari model OLS memiliki pola spasial, yaitu apakah terdapat autokorelasi spasial (indikasi bahwa hubungan tidak acak secara geografis). Hasil analisis Moran's I dijabarkan pada tabel 2 dan gambar .

Tabel 2. Hasil Analisis Moran's I

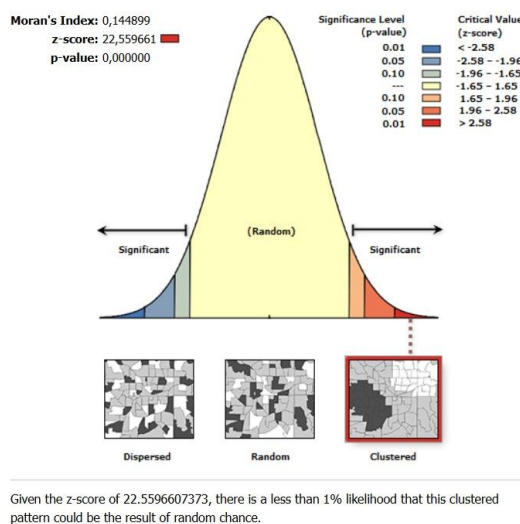
Parameter	Nilai	Interpretasi
Moran's Index	0,1449	Menunjukkan pola kluster positif
Z-score	22,56	Jauh di atas nilai kritis ($\pm 1,96$)
p-value	0,000000	Sangat signifikan ($p < 0,01$)
Interpretasi ArcGIS	"Less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance."	

Hasil analisis Moran's I menunjukkan adanya autokorelasi spasial positif yang signifikan pada distribusi suhu permukaan dan fenomena Urban Heat Island (UHI) di Kota Cilegon. Nilai Moran's Index yang positif mengindikasikan bahwa area dengan suhu tinggi cenderung berdekatan dengan area bersuhu tinggi lainnya, begitu pula area dengan suhu rendah yang saling mengelompok. Dengan demikian, pola persebaran suhu di Kota Cilegon tidak terjadi secara acak, melainkan membentuk pola kluster spasial yang jelas.

Tingginya nilai z-score yang jauh melampaui nilai kritis serta nilai signifikansi yang sangat kecil menunjukkan bahwa kemungkinan pola kluster tersebut terjadi secara kebetulan sangat rendah. Hasil ini memperlihatkan bahwa terdapat pengaruh spasial yang kuat dalam distribusi UHI di Kota Cilegon, di mana kondisi suatu wilayah

dipengaruhi oleh karakteristik wilayah di sekitarnya. Maka, fenomena UHI di Kota Cilegon menunjukkan karakter spasial yang kuat dan dipengaruhi oleh pola perkembangan penggunaan lahan perkotaan.

Pada gambar 7 terlihat gambaran distribusi spasial dari model yang terbentuk, dimana terdapat area *clustered*, *dispersed*, dan *random*. Area *clustered* menunjukkan Lokasi-lokasi yang sejalan dengan model (*hot cluster*), sedangkan area *dispersed* menunjukkan *cold cluster*. Area random menunjukkan area yang tidak terdefinisi oleh model. Hal ini sejalan dengan nilai R square rendah yang ditunjukkan dari model OLS, yang berarti masih terdapat faktor-faktor lain yang mempengaruhi fenomena UHI di Kota Cilegon.



Gambar 7. Diagram Korelasi Spasial antara Kepadatan Penduduk dan UHI pada Analisis Moran's I

3.3. Pembahasan

Analisis OLS menunjukkan adanya hubungan positif dan signifikan secara statistik antara kepadatan penduduk dan LST di Kota Cilegon, yang mengindikasikan bahwa area dengan kepadatan lebih tinggi cenderung mengalami suhu permukaan yang lebih panas. Temuan ini sejalan dengan studi-studi terdahulu, yang menjelaskan bahwa peningkatan intensitas UHI dipengaruhi oleh emisi panas antropogenik dari aktivitas manusia, seperti transportasi, penggunaan energi, pendingin ruangan (AC), serta aktivitas industri rumah tangga (Santamouris, 2015; Yang et al., 2020). Berbagai aktivitas tersebut menghasilkan panas antropogenik yang secara langsung meningkatkan suhu udara dan permukaan di sekitarnya.

Selain panas antropogenik, geometri perkotaan dan material permukaan juga memainkan peran penting dalam memperkuat efek UHI. Kawasan terbangun dengan tinggi bangunan yang relatif seragam dan bidang atap yang luas dapat memantulkan dan menyerap radiasi matahari secara lebih merata, sehingga meningkatkan kapasitas penyimpanan panas di area tersebut. Material dengan albedo rendah yang umum digunakan pada atap dan perkerasan permukaan menyerap sebagian besar radiasi matahari yang masuk, menyebabkan suhu siang hari yang tinggi dan pendinginan malam hari yang tertunda (Akbari & Kolokotsa, 2016; Li et al., 2020). Di permukiman padat, di mana bangunan saling berdekatan dan memiliki ketinggian atap yang hampir sama, potensi pantulan panas antar bangunan dan sirkulasi udara yang terbatas menjadi lebih besar, sehingga memicu peningkatan suhu permukaan. Maka, hubungan signifikan antara kepadatan penduduk dan LST bukan hanya mencerminkan pengaruh aktivitas manusia, tetapi juga morfologi perkotaan yang memperkuat proses penyerapan dan penyimpanan panas matahari. Lebih lanjut, Temuan adanya pengaruh kepadatan penduduk terhadap peningkatan efek UHI pada penelitian ini makin menegaskan berbagai hasil studi yang dilakukan peneliti terdahulu. Kepadatan penduduk yang tinggi berdampak negatif terhadap lingkungan, termasuk polusi udara dari aktivitas manusia, yang mengakibatkan emisi gas CO₂ yang lebih signifikan. Rahman (2017) menjelaskan bahwa

negara-negara dengan kepadatan penduduk yang tinggi berkontribusi lebih besar terhadap emisi udara. Sementara, berkaitan dengan fenomena UHI, penelitian Lee dkk. (2020) menunjukkan bahwa konsentrasi penduduk yang tinggi dapat memengaruhi intensitas UHI karena dengan menghasilkan panas antropogenik yang disebabkan semakin padat populasi maka semakin besar konsumsi energi, aktivitas transportasi, dan emisi panas buangan yang kesemuanya berkontribusi langsung terhadap peningkatan suhu udara perkotaan.

Namun demikian, hubungan antara kepadatan penduduk dan UHI bersifat kompleks dan dipengaruhi oleh pola perkembangan kota dan faktor pengaruh lainnya. Penurunan kepadatan penduduk akibat perluasan wilayah terbangun (*urban sprawl*) tidak selalu menurunkan risiko panas, karena ekspansi kota justru dapat meningkatkan suhu permukaan dan memperluas area terdampak UHI (Ji, et.al, 2026). Oleh karena itu, upaya mitigasi UHI selain perlu mempertimbangkan distribusi kepadatan penduduk secara spasial, juga perlu melakukan upaya intervensi terhadap faktor pengaruh meningkatnya intensitas UHI. Upaya atau strategi yang perlu dilakukan antara lain mengendalikan pengendalian pertumbuhan kota, melakukan pengaturan kepadatan bangunan dan geometri kota untuk meningkatkan ventilasi alami, peningkatan efisiensi energi, dan penyediaan ruang hijau kota. Berkaitan dengan penyediaan ruang terbuka hijau, beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah pemilihan jenis tanamannya, jumlah dan proporsi terhadap luasan, sebaran dan distribusinya. Sebagaimana dinyatakan oleh Shahmohamadi, et.al. (2021), vegetasi yang tersebar merata dalam kota memberikan efek pendinginan yang lebih baik dibandingkan yang terkonsentrasi di satu Lokasi. Ketidak merataan distribusi vegetasi dalam kota akan menimbulkan variasi suhu yang signifikan bahkan dapat membentuk intra-urban heat island (Rahman et.al., 2024). Oleh karena itu, dalam merencanakan kota, penyediaan ruang terbuka hijau perlu mempertimbangkan konektivitas ruang hijau, sebaran dan pemilihan jenis tanaman, bukan hanya memperhitungkan luasan totalnya. Seperti yang terlihat pada kasus kota Cilegon, dimana ruang terbuka hijau mencakup luasan yang besar (sekitar 40%) namun terpusat di bagian utara dalam bentuk hutan dan bagian Selatan dalam bentuk kawasan pertanian, fenomena UHI masih menunjukkan peningkatan pada periode 2010-2020.

Hasil Uji Moran's I juga menunjukkan adanya autokorelasi spasial positif yang signifikan pada residual, yang mengindikasikan bahwa hubungan antara kepadatan penduduk dan UHI tidak bersifat seragam secara spasial. Dimana, terdapat kawasan yang tidak padat huni namun tetap mengalami UHI pada Kota Cilegon. Pola pengelompokan spasial ini berkaitan erat dengan karakteristik guna lahan Kota Cilegon sebagai kota industri. Kawasan industri, khususnya pada sektor baja dan petrokimia, menunjukkan suhu permukaan yang dapat mencapai hingga 2,9 °C lebih tinggi dibandingkan area sekitarnya, meskipun memiliki kepadatan penduduk yang relatif rendah. Suhu permukaan tercatat sangat tinggi (≥ 34 °C) di sekitar area produksi baja dan kompleks petrokimia, suhu 32–33,9 °C di dekat tangki penyimpanan berukuran besar, serta suhu 30–31,9 °C di sekitar bangunan perkantoran (Taufiqurrahman, 2025). Pola ini mengindikasikan bahwa emisi panas industri, operasi mesin, dan permukaan kedap air memiliki kontribusi besar terhadap fenomena UHI lokal, sejalan dengan temuan IPCC (2005) bahwa emisi CO₂ industri dan panas buangan mempercepat pemanasan permukaan dan perubahan iklim.

Secara umum, walaupun kepadatan penduduk berperan secara signifikan dalam memengaruhi fenomena UHI, variasi atau heterogenitas spasial di Kota Cilegon mengindikasikan bahwa keberadaan dan sebaran lahan industri memiliki keterkaitan terhadap pembentukan pola pemanasan lokal. Hal ini salah satunya ditunjukkan di Kecamatan Ciwandan dan Citangkil yang memiliki intensitas UHI tinggi yang diperkirakan dipicu oleh kombinasi kepadatan penduduk dan aktivitas industri. Temuan ini menegaskan perlunya strategi mitigasi yang ditargetkan secara spasial, baik dari segi kepadatan aktivitas serta penggunaan lahannya. Dalam konteks kebijakan, pemerintah daerah perlu mengarahkan pengendalian pertumbuhan kota melalui pengaturan kepadatan bangunan, seperti pembangunan hunian vertikal dan kampung deret, pengaturan intensitas pemanfaatan ruang, penerapan Koefisien Dasar Hijau (KDH) minimum, pengembangan jaringan ruang terbuka hijau yang terdistribusi merata, serta pengaturan geometri bangunan, seperti penggunaan atap reflektif dan material permukaan, bukaan untuk angin, dalam rangka meningkatkan ventilasi alami dan mengurangi akumulasi panas di kawasan permukiman. Selain itu, kawasan industri memerlukan strategi khusus berupa pengendalian panas residu, dan peningkatan albedo permukaan di kawasan industri melalui material reflektif, peningkatan efisiensi energi,

penyediaan green buffer, dan sebagai bagian dari kebijakan RTRW dan RDTR guna mewujudkan pembangunan kota yang lebih berkelanjutan dan tangguh terhadap perubahan iklim.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan positif yang signifikan antara kepadatan penduduk dan suhu permukaan di Kota Cilegon, yang menunjukkan bahwa area dengan kepadatan lebih tinggi mengalami efek *Urban Heat Island* (UHI) yang lebih kuat. Korelasi ini mengindikasikan kontribusi panas antropogenik dari aktivitas manusia, dalam bentuk morfologi perkotaan, termasuk kawasan permukiman yang padat huni dengan permukaan beralbedo rendah dan struktur atap yang padat dan seragam yang meningkatkan penyerapan panas matahari. Akan tetapi, analisis autokorelasi spasial (Moran's I) menunjukkan bahwa hubungan tersebut tidak seragam secara spasial. Pengelompokan zona bersuhu tinggi berkaitan dengan penggunaan lahan industri, di mana suhu permukaan tinggi terjadi meskipun kepadatan penduduk rendah. Sektor industri, khususnya industri baja dan petrokimia, menghasilkan panas buangan dan emisi CO₂ dalam jumlah besar, yang diindikasikan memperkuat pembentukan UHI secara lokal. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya mitigasi secara spasial, melalui peningkatan vegetasi dan permukaan reflektif di kawasan permukiman padat. Permukiman padat penduduk dapat juga diatur melalui pengaturan kepadatan bangunan dalam bentuk kampung berderet atau permukiman vertikal untuk menambahkan ruang bagi vegetasi demi meminimalisasi dampak penyerapan panas. Pemerintah juga dapat menambahkan jalur hijau dan kantong-kantong ruang terbuka hijau yang terkoneksi di kawasan permukiman. Selain itu, pengelolaan panas residu dan peningkatan albedo permukaan di kawasan industri. Penelitian lanjutan dapat dilakukan untuk memahami faktor-faktor lain yang mempengaruhi fenomena UHI secara spasial dan aspasial sebagai upaya awal untuk mengidentifikasi langkah mitigasi perubahan iklim yang efektif dan efisien.

Referensi

- Akbari, H., & Kolokotsa, D. (2016). Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research. *Energy and Buildings*, 133, 834–842. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.067>
- Apriana. M. & Syahrani e. (2022). Land Surface Temperature and its relationship to Population Density, *Journal of Applied Geospatial Information*. 6(1). <https://doi.org/10.30871/jagi.v6i1.1936>
- Bhargava A., Lakmini S., & Bhargava S. (2017). Urban Heat Island Effect: It's Relevance in Urban Planning. *Journal of Biodiversity & Endangered Species*. 5(2). <https://doi.org/10.4172/2332-2543.1000187>
- Fairuzdhiya, O. U., Rahmawati, R., & Rusgiyono, A. (2014). Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi kemiskinan di Jawa Tengah menggunakan model galat spasial. *Jurnal Gaussian*, 3(4), 781–790. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/gaussian>.
- Fatimah, E, A. Ramadhani dan R. Imana. (2023). Penerapan Metode Derajat Urbanisasi di Indonesia, Studi Kasus: Kota Pekalongan dan Sekitarnya. *Jurnal Tata Kota dan Daerah*, 15(2). <https://tatakota.ub.ac.id/index.php/tatakota/article/view/603>
- Fawzi, N. I. (2017). Mengukur Urban Heat Island Menggunakan Penginderaan Jauh, Kasus di Kota Yogyakarta. *Majalah Ilmiah Globe*. 19(2). Oktober 2017. <https://doi.org/10.24895/MIG.2017.19-2.603>
- Jabbar, H.K, Hamoodi, M.N. & Al-Hameedawi A.N. (2023). Urban Heat Island: A Review of Contributing Factors, Effects and Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1129(2023)0123038. 3rd International Conference on Smart Cities and Sustainable Planning. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1129/1/012038>
- Ji, Y., et.al. (2026). How Urban sprawl patterns shape the thermal environment during hot summers: an empirical analysis of 338 Chinese cities. *Environmental Impact Assessment Review*, 117, 108251. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2025.108251>
- Larasati A.P., Rahman B., & Kautsary J., (2022) Pengaruh Perkembangan Perkotaan terhadap Fenomena Pulau Panas (Urban Heat Island). *Jurnal Kajian Ruang*. 2(1). <http://dx.doi.org/10.30659/jkr.v2i1.20469>
- Lee, K., Y. Kim, H.C. Sung, J. Ryu dan S.W. Jeon. (2020). Trend Analysis of Urban Heat Island Intensity According to Urban Area Change in Asian Mega Cities. *Sustainability*, 12 (1). <https://doi.org/10.3390/su12010112>
- Li, D., Bou-Zeid, E., & Oppenheimer, M. (2020). The effectiveness of cool and green roofs as urban heat island mitigation strategies. *Environmental Research Letters*, 15(5), 055006. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/9/5/055002>
- Mahmood, R. Hassan F., & Kulsum U. (2025) Exploring the Role of Population dynamics in Surface Urban Heat Island Hotspot in Peri-Urban Dhaka. *Forum Geografi*. 39(1). <https://www.doi.org/10.23917/forgeo.v39i1.6648>
- Muliadi, Nugraha, I., & Dalilla F. (2024). Analisis Urban Heat Island menggunakan Citra Landsat di Kota Pekanbaru. *Journal of Urban and Regional Planning for Sustainable Environment*, 3(1). Diunduh dari <https://journal.uir.ac.id/index.php/JURPS/article/view/17874>

- Rahman S., Z.N. Azizah, T. S.S. Djati, M.F. Rahman. (2024). Exploring the relationship of vegetation density and land cover on the urban heat island phenomenon in Coblong, Bandung. *The Indonesian Journal of Planning and Development*. 9 (2), <http://dx.doi.org/10.14710/ijpd.9.2.76-84>
- Rahman, M.M., (2017). Do population density, economic growth, energy use and exports adversely affect environmental quality in Asian populous countries? *Renew. Sustain. Energy Rev.* 77, 506–514. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.041>
- Rosantiningasih & Yola, (2023). Potensi Peningkatan Pulau Panas Perkotaan pada Permukiman Kumuh Kampung Pojok Jakarta. *Jurnal Ilmiah Edunomika*, 8(01). <https://doi.org/10.29040/jie.v8i1.10722>
- Santamouris, M. (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions. *Science of the Total Environment*, 512–513. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.060>
- Satryo, I.f. Ramdhan, D.M., & Cerlandita, K.P., (2021). Analisis Perubahan Land Surface Temperature Menggunakan Citra Multi – Temporal (Studi kasus: Kota Banjarmasin). *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Geografi (JPIG)*, 6(1). <https://doi.org/10.21067/jpig.v6i1.5202>
- Shahmohamadi, P., A.I. Che-Ani, K.N.A. Maulud, N.M. Tawil and N.A.G Abdullah. (2011). The Impact of Anthropogenic Heat on Formation of Urban Heat Island and Energy Consumption Balance. *Urban Studies Research*. <https://doi.org/10.1155/2011/497524>
- Taufiqurrahman A., (2025). *Kajian Fenomena Urban Heat Island Kota Cilegon Sebagai Kota Industri*. (Skripsi Sarjana, Universitas Trisakti). https://www.repository.trisakti.ac.id/usaktiana/index.php/home/detail/detail_koleksi/5/SKR/judul/000000000000000066218#
- Wang, Z., Ishida Y., & Mochida, A. (2023). Effective Factors for Reducing Land Surface Temperature in Each Local Climate Zone Built Type in Tokyo and Shanghai. *Remote Sens*, 15, 3840. <https://doi.org/10.3390/rs15153840>
- Yang, J., Wang, Y., Xiu, C., Xiao, X., Xia, J. C., Jin, C., & Li, X. (2020). Optimizing local climate zones to mitigate urban heat island effect in human settlements. *Journal of Cleaner Production*, 275, 123767. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123767>