

Pengaruh *Urban Heat Island* Terhadap Aktivitas Fisik di Kota Makassar

*Laode Muh. Asfan Mujahid¹, Venny Veronica Natalia¹, Andi Ahmad Dzaky Akrim¹

¹Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Indonesia

Email: muhammadasfan@eng.unhas.ac.id; veronicanatalia@unhas.ac.id; dzaky.akrim@gmail.com

*Penulis korespondensi, Masuk: 25 Sept. 2022, Revisi: 25 Feb. 2023, Diterima: 30 Mar. 2023

ABSTRAK: Kota Makassar sebagai salah satu kota metropolitan dengan tingkat laju pertumbuhan penduduk yang tinggi memiliki potensi terjadinya fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Laju pertumbuhan penduduk Kota Makassar yang terus meningkat berdampak pada peningkatan aktivitas perkotaan yang secara tidak langsung berdampak akan meningkatkan emisi gas rumah kaca dan eksploitasi ruang terbuka hijau yang mempengaruhi suhu permukaan. Peningkatan suhu ini akan memberikan kerugian lingkungan dan penurunan kesehatan dan kenyamanan. Maka dari itu, perlu dilakukan kajian UHI dan upaya mitigasi yang berkelanjutan dan terencana dalam menurunkan suhu permukaan di Kota Makassar. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui aktivitas perkotaan apa saja yang berpotensi meningkatkan suhu permukaan, memetakan pola sebaran spasial UHI terhadap struktur ruang Kota Makassar, serta merumuskan rekomendasi mitigasi UHI berdasarkan prinsip pembangunan berkelanjutan. Lokasi penelitian berada di Kota Makassar. Penginderaan jauh merupakan salah satu pendekatan yang digunakan. Metode penelitian yang digunakan berupa metode *systematic literature review*, analisis spasial, dan analisis deskriptif kualitatif. Hasil dari penelitian menunjukkan terdapat 10 aktivitas perkotaan yang dapat meningkatkan temperatur antara lain operasional kendaraan, eksploitasi ruang terbuka hijau, pembangunan lahan terbangun, serta aktivitas dari sektor industri, permukiman, komersil, pariwisata, perkantoran, pendidikan, dan persampahan. Intensitas UHI Kota Makassar berkisar 0°C hingga 7,25°C dimana pola sebaran UHI dominan menjalar di daerah suburban. Mitigasi UHI yang dilakukan berupa upaya penurunan gas emisi dan penghijauan kondisi vegetasi dengan memperhatikan potensi UHI kedepannya.

Kata kunci: *Urban Heat Island, Ruang Terbuka Hijau, Aktivitas Perkotaan, Emisi Gas Rumah Kaca, Pembangunan Berkelanjutan*

ABSTRACT: Makassar City as one of the metropolitan cities with a high rate of population growth has the potential for the *Urban Heat Island* (UHI) phenomenon. The population growth rate of Makassar City which continues to increase has an impact on increasing urban activities which will indirectly have an impact on increasing greenhouse gas emissions and exploitation of greenspaces that affect surface temperature. This increase in temperature will result in environmental losses and a decrease in health and comfort. Therefore, it is necessary to conduct a UHI study and sustainable and planned mitigation efforts in reducing surface temperatures in Makassar City. The purpose of this study was to find out what urban activities have the potential to increase surface temperature, map the spatial distribution pattern of UHI on the spatial structure of Makassar City, and formulate recommendations for UHI mitigation based on the principles of sustainable development. The research location is in Makassar City. Remote sensing is one of the approaches used. The research method used is a *systematic literature review* method, spatial analysis, and qualitative descriptive analysis. The results of the study show that there are 10 urban activities that can increase temperature, including vehicle operations, exploitation of greenspaces, development of built-up land, as well as activities from the industrial, residential, commercial, tourism, office, education, and solid waste sectors. UHI intensity in Makassar City ranges from 0°C to 7.25°C where the UHI distribution pattern is dominant in suburban areas. UHI mitigation is carried out in the form of efforts to reduce gas emissions and reforestation of vegetation conditions by taking into account the potential of UHI in the future.

Keywords: *Urban Heat Island, Green Open Space, Urban Activities, Greenhouse Gas Emissions, Sustainable Development*

1. PENDAHULUAN

Pesatnya pertumbuhan penduduk suatu kota mendorong kebutuhan akan tempat tinggal yang berdampak terhadap konversi lahan terutama dari kawasan tidak terbangun menjadi kawasan terbangun [1]. Ekspansi berlebihan pembangunan sarana dan prasarana yang tidak terkendali berdampak pada penurunan kuantitas vegetasi di daerah khususnya kawasan perkotaan. Hal ini akan secara langsung memantulkan gelombang radiasi matahari ke permukaan bumi sehingga meningkatkan suhu permukaan baik pendinginan ataupun pemanasan lokal [2]. Perubahan alih fungsi lahan tersebut berpotensi pada perubahan unsur-unsur iklim seperti suhu, radiasi matahari, kecepatan angin, dan awan [3].

Suhu permukaan merupakan unsur iklim yang dapat dipengaruhi langsung terhadap alih fungsi tata guna lahan yang berujung pada perubahan suhu udara. Adanya alih fungsi lahan dari kawasan tidak terbangun menjadi kawasan terbangun berpotensi meningkatkan suhu permukaan, hal ini disebabkan meningkatnya perubahan lahan baik di kota ataupun desa secara tidak langsung akan mengambil bagian besar dalam akumulasi penggunaan energi dalam bentuk emisi yang tinggi, selain itu lahan terbangun dapat mengakibatkan tingginya suatu penyerapan kapasitas dan konduktivitas panas [4].

Suhu pada kawasan yang kurang memiliki vegetasi atau padat bangunan seperti perkotaan, perkantoran dan jalan aspal akan cepat memicu peningkatan suhu yang tinggi, beda halnya dengan kawasan yang bervegetasi yang memiliki suhu permukaan yang lebih rendah. Perbedaan suhu di kawasan perkotaan yang padat dengan kawasan yang didominasi vegetasi sering disebut sebagai fenomena "Urban Heat Island (UHI)" atau "pulau panas" [3].

Fenomena UHI adalah potret dari Urban Canopy layer (UCL) yaitu lapisan udara di kanopi perkotaan dibawah ketinggian rata-rata gedung dan pepohonan yang mengalami peningkatan suhu udara dan akan semakin turun suhunya pada wilayah rural atau perdesaan khususnya pada malam hari [5]. Dengan kata lain, UHI adalah daerah perkotaan yang mengalami suhu lebih tinggi daripada daerah terpencil [6].

Fenomena ini bisa terjadi karena berbagai aktivitas perkotaan mulai dari konversi ruang terbuka hijau, peningkatan penduduk yang berakibat peningkatan penggunaan energi listrik (emisi perumahan), kontribusi gas emisi kendaraan (CO_2 , CO), struktur bangunan, dan lainnya [7]. Dalam struktur daerah perkotaan, dimana vegetasi memiliki evapotranspirasi dalam melepaskan radiasi matahari terbatas dan struktur seperti gedung, jalan, dan infrastruktur lainnya menyerap dan memancarkan kembali panas matahari

lebih banyak daripada lanskap alam seperti hutan dan badan air sangat terkonsentrasi menyebabkan daerah perkotaan dengan suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah terpencil [7]. Masalah utama atau kerugian yang didapatkan dari fenomena urban heat island adalah peningkatan suhu dan penurunan kenyamanan dan kesehatan manusia dari akibat pemenuhan lahan kebutuhan masyarakat yang tidak terkendali yang secara tidak langsung berefek pada peningkatan gas rumah kaca [6].

Kota Makassar merupakan salah satu kota terbesar di Kawasan Indonesia Timur (KTI) yang memiliki potensi terjadinya fenomena urban heat island sebagai akibat dari tingkat laju pertumbuhan penduduk yang tinggi. Pembangunan atas pemenuhan kebutuhan masyarakat yang pesat di Kota Makassar mengakibatkan alih fungsi kawasan tidak terbangun menjadi kawasan terbangun yang juga berdampak terhadap penurunan ruang terbuka hijau [8]. Dari tahun 1999 hingga tahun 2019 lahan bervegetasi mengalami penurunan sebesar 8.6%, dan lahan terbangun mengalami peningkatan sebesar 13,1% yang berdampak pada peningkatan rata-rata suhu permukaan sebesar 0.39°C dengan ketersediaan lahan terbuka di Kota Makassar menurun sekitar 5.9% [8].

Selain itu, sektor pembangunan atas pemenuhan kebutuhan hidup secara tidak langsung juga mengakibatkan peningkatan penggunaan energi dan gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap besaran gas emisi (CO , CO_2 , HK, NO_2) seperti meningkatnya kebutuhan kendaraan bermotor dan diperkuat dengan kurangnya jalur hijau (green belt) mempengaruhi suhu permukaan [9]. Pembangunan yang masif yang tidak sejalan dengan kebutuhan ruang terbuka hijau ini merupakan pertanda peningkatan suhu permukaan dan potensi terjadinya fenomena urban heat island di Kota Makassar [8].

Berdasarkan Undang-undang No. 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang menyatakan bahwa penataan ruang harus memperhatikan keselamatan dan kenyamanan hidup. Maka dari itu perlu adanya upaya mitigasi yang berkelanjutan dan terencana dengan memperhatikan aktivitas perkotaan terhadap potensi fenomena urban heat island untuk mengantisipasi dan memperbaiki peningkatan suhu udara [3]. Hal ini sejalan dengan salah satu tujuan pembangunan berkelanjutan (TPB) yang diterapkan pemerintah dalam upaya penanganan perubahan iklim. Oleh sebab itu, hal ini lah yang melatarbelakangi perlu dilakukan kajian mengenai potensi dan sebaran urban heat island yang terdampak pada wilayah Kota Makassar serta rekomendasi mitigasi penurunan suhu yang berkelanjutan.

Berdasarkan latar belakang di atas penelitian

2) Mengumpulkan jurnal untuk menjawab serta memastikan kualitas dan menyediakan informasi yang dibutuhkan

2.4.2. Identifikasi Pola Sebaran Urban Heat Island

Untuk menjawab rumusan masalah kedua, analisis dilakukan dengan analisis spasial dengan metode algoritma Land Surface Temperature (LST) yakni mengekstrak citra satelit suhu permukaan. Ekstraksi suhu permukaan pada citra Landsat dilakukan menggunakan sensor termal yaitu band 10 untuk Landsat 8. Pengolahan suhu permukaan dilakukan dengan algoritma prinsip fisika pada black body temperature [10], adapun formula algoritma tersebut sebagai berikut:

Koreksi Radiometrik Atmosfer (Top Of Atmosphere). Data band 10 Landsat 8 diolah dari citra mentah (raw image) atau nilai DN (digital number) menjadi nilai Top Of Atmosphere (TOA) Spectral Radiance berdasarkan radiance rescaling factors dalam file metadata Landsat 8. Adapun rumus formula yang digunakan dalam menentukan TOA, sebagai berikut:

$$L_{\lambda} = M \cdot L \cdot Q_{cal} + A \cdot L \quad (1)$$

Dimana: L_{λ} = TOA spectral radiance ($Watts/(m^2 \cdot srad \cdot \mu m)$); ML = Nilai spesifik radiance multiplicative rescaling factor dari metadata Landsat 8 (band 10); AL = Nilai spesifik additive rescaling factor dari metadata Landsat 8 (band 10); Q_{cal} = Nilai piksel digital number (DN) pada band 10.

Perhitungan Brightness Temperature. Brightness Temperature (BT) didapatkan dari konversi nilai Top Of Atmosphere dengan menggunakan konstanta termal. Brightness Temperature (BT) kemudian dikonversi ke unit skala Celcius. Adapun rumus formula yang digunakan sebagai berikut:

$$BT = \frac{K2}{\ln(K1/L_{\lambda} + 1)} - 273 \quad (2)$$

Dimana: BT = Temperatur pencerahan (K); L_{λ} = TOA spectral radiance ($Watts/(m^2 \cdot srad \cdot \mu m)$); $K1$ = Konstanta kalibrasi radian spectra (band 10 dari metadata Landsat 8); $K2$ = Konstanta kalibrasi suhu absolut (band 10 dari metadata Landsat 8); 273 = Nilai untuk konversi suhu dalam satuan Kelvin menjadi Celcius.

Perhitungan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Nilai Normalized Difference Vegetation Index bertujuan untuk memberi informasi tentang tutupan vegetasi dari suatu wilayah. Pengolahan NDVI membutuhkan band red (band 4 pada Landsat 8) dan near infrared (band 5 pada Landsat 8) dengan rumus formula sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (3)$$

Dimana: NIR = Nilai digital number (DN) Saluran merah pada Landsat 8; RED = Nilai digital number (DN) Saluran inframerah dekat pada Landsat 8.

Perhitungan Nilai Proportion Of Vegetation (Pv). Nilai P_v bertujuan untuk meminimalisir hambatan kondisi tanah yang lembab dan fulks energi permukaan. Nilai dapat dihitung dengan mengskalakan nilai $NDVI$ yang sebelumnya telah diperoleh serta nilai $NDVI_{soil}$ (tanah) dan nilai $NDVI_{veg}$ (vegetasi) dengan formula sebagai berikut:

$$P_v = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (4)$$

Dimana: P_v = Proportion Of Vegetation ; $NDVI$ = Hasil pengolahan Nilai $NDVI$ yang sebelumnya telah diperoleh; $NDVI_{soil}$ = Nilai $NDVI$ untuk tanah (Soil); $NDVI_{veg}$ = Nilai $NDVI$ untuk vegetasi 100%.

Perhitungan Nilai Emisivitas (ϵ). Setelah memperoleh nilai *proportion of vegetation* penutup vegetasi dapat dihitung nilai emisivitas suatu wilayah. Dalam perhitungan nilai emisivitas memerlukan nilai emisivitas tanah dan nilai emisivitas vegetasi. Adapun rumus formula yang digunakan sebagai berikut:

$$\epsilon = 0.004P_v + 0.0986 \quad (5)$$

Dimana: ϵ = Emisivitas; 0.04 = Rata-rata nilai emisivitas Vegetasi rapat; 0.960 = Emisivitas standar lahan tanah/lahan terbuka.

Perhitungan Nilai Land Surface Temperature (LST). Suhu permukaan dihitung dengan menggunakan algoritma USGS, sebagai berikut:

$$LST = \frac{BT}{(1 + \frac{\lambda \delta}{\lambda} \ln \epsilon)} \quad (6)$$

Dimana: LST = Land surface temperature/suhu permukaan; BT = Brightness temperature/suhu kecerahan; λ = Panjang gelombang tengah band thermal (Landsat 8 = $10.8 \mu m$); δ = Ketetapan $1.438 \times 10^{-2} mK$; ϵ = Nilai emisivitas.

Analisis Distribusi urban heat island. Identifikasi Kawasan yang terkena fenomena UHI ditentukan berdasarkan ambang batas hasil pengolahan land surface temperature (LST), yakni Nilai rata-rata suhu permukaan dan Nilai standar deviasi suhu permukaan. Adapun algoritma yang digunakan sebagai berikut:

$$LST > \mu + 0.5\alpha \quad (7)$$

$$0 < LST \leq \mu + 0.5\alpha \quad (8)$$

Dari persamaan di atas, dapat dijabarkan rumus algoritma urban heat island sebagai berikut:

$$UHI = LST - (\mu + 0.5\alpha) \quad (9)$$

Dimana: LST = Land surface temperature/suhu permukaan; μ = Nilai rata-rata suhu permukaan; α = Standar deviasi suhu permukaan; *(Pers. 7) menentukan daerah yang tidak terdampak urban heat island; *(Pers. 8) menentukan daerah yang terdampak urban heat island.

2.4.3. Analisis Rekomendasi Mitigasi Urban Heat Island

Untuk menjawab rumusan masalah ketiga, analisis dilakukan menggunakan metode analisis kualitatif dan analisis spasial. Analisis kualitatif digunakan dalam mendeskripsikan rekomendasi mitigasi urban heat island yang dapat dilakukan terhadap aktivitas dari tutupan lahan, sedangkan analisis spasial digunakan dalam memberikan gambaran rekomendasi secara spasial terhadap overlay tutupan lahan dengan sebaran urban heat island.

Rekomendasi mitigasi urban heat island dibuat dengan mengacu pada prinsip pembangunan berkelanjutan. Rekomendasi akan mengarah pada pemanfaatan energi dan memodifikasi permukaan kota seperti penghijauan khususnya pada lahan terbangun baik pada bangunan maupun permukaan dari tutupan lahan, hal ini dilakukan mengingat keterbatasan lahan untuk ruang terbuka hijau di Kota Makassar. Rekomendasi dibuat dengan memperhatikan potensi UHI kedepannya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Jenis-Jenis Aktivitas Perkotaan Yang Berpotensi Meningkatkan Temperatur Permukaan

Hasil search process dari Harzing's Publish or Perish dengan menggunakan keywords yaitu "aktivitas perkotaan yang berpotensi meningkatkan temperatur permukaan di Kota Makassar" teridentifikasi sebanyak 1027 data penelitian. Kemudian data literatur tersebut dipilah berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah dibuat, diperoleh 604 data yang disaring dari kriteria inklusi dan 378 data dari kriteria eksklusi sehingga diperoleh 45 data. Penjabaran proses analisis pemilahan data di atas dapat digambarkan dalam diagram PRISMA Flow pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2. menggambarkan bahwa terdapat 12 data relevan yang telah ditinjau dan diolah secara struktur dan dapat menjadi acuan

untuk menentukan aktivitas perkotaan apa saja yang berpotensi meningkatkan temperatur permukaan. Hasil kajian literatur tersebut terdapat 10 aktivitas yang dibahas dari berbagai literatur mengenai aktivitas perkotaan, secara garis besar aktivitas perkotaan yang dibahas umumnya berasal dari aktivitas antropogenik (aktivitas manusia yang memicu efek buruk lingkungan) pada suatu tutupan lahan dan juga aktivitas lingkungan perkotaan. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Jumlah literatur yang Membahas Aktvitas Perkotaan yang Berpotensi Meningkatkan Temperatur Permukaan

No.	Aktivitas Perkotaan yang Berpotensi Meningkatkan Suhu Permukaan	Keterangan
1	Operasional Kendaraan Bermotor / Penggunaan bahan bakar fosil	Menghasilkan gas rumah kaca
2	Alih fungsi lahan/eksploitasi ruang terbuka hijau/kurangnya vegetasi	Mengurangi Kemampuan Evapotranspirasi
3	Pembangunan lahan terbangun/Konstruksi material bangunan	Material dapat menyimpan panas
4	Aktivitas sektor industri	
5	Aktivitas sektor permukiman	
6	Aktivitas sektor perbelanjaan	
7	Aktivitas sektor perkantoran	Meningkatkan gas rumah kaca
8	Aktivitas sektor Komersial wisata/pariwisata	
9	Aktivitas sektor Komersial wisata/pariwisata	
10	Aktivitas sektor Komersial wisata/pariwisata	

Kajian ini akan dijadikan acuan dalam menganalisis interaksi aktivitas dari perkotaan terhadap pergerakan pola urban heat island di Kota Makassar.

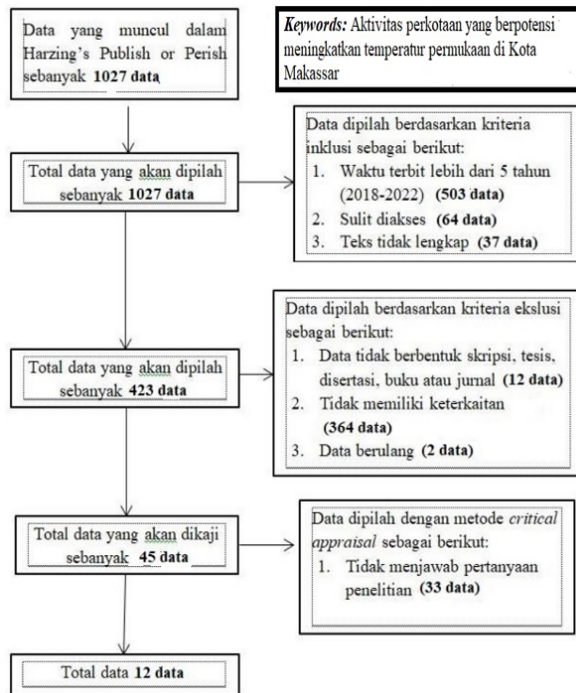
3.2. Identifikasi Pola Sebaran Urban Heat Island di Kota Makassar

Persebaran suhu Urban Heat Island (UHI) di Kota Makassar diperoleh berdasarkan nilai ambang batas dari pengolahan setengah nilai standar deviasi dan rerataan suhu permukaan atau land surface temperature (LST). Estimasi LST diperoleh dari pengolahan data termal citra Landsat 8. Suhu yang lebih tinggi dari nilai ambang batas merupakan suhu UHI.

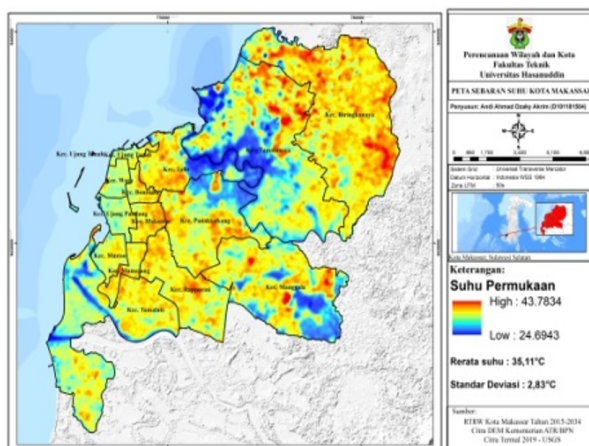
3.2.1. Sebaran Suhu Permukaan Kota Makassar

Berdasarkan ekstraksi data citra dari Landsat 8 diperoleh statistik distribusi suhu permukaan

Kota Makassar sangat beragam tersebar di seluruh kecamatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3 tersebut, diketahui suhu terendah $24,69^{\circ}\text{C}$ dan suhu tertinggi $43,78^{\circ}\text{C}$. Adapun rata-rata suhu permukaan dilakukan dengan perhitungan SIG dan diperoleh informasi bahwa rerataan suhu Kota Makassar sebesar $35,11^{\circ}\text{C}$ dengan standar deviasi $2,83^{\circ}\text{C}$.



Gambar 2. Diagram PRISMA Flow

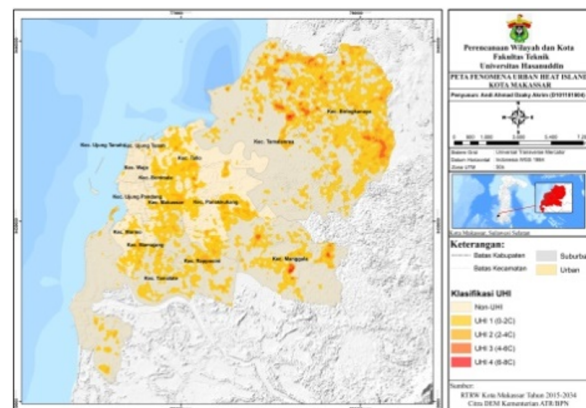


Gambar 3. Sebaran Suhu Permukaan Kota Makassar

3.2.2. Sebaran Urban Heat Island terhadap Struktur Ruang Kota Makassar

Berdasarkan nilai rerata suhu dan standar deviasi pada Gambar 3 sebelumnya, dapat dihitung nilai ambang batas intensitas UHI yakni sebesar $36,525^{\circ}\text{C}$. Dengan demikian suhu yang lebih tinggi dari suhu $36,525^{\circ}\text{C}$ merupakan suhu UHI, sehingga diketahui bahwa suhu UHI di Kota Makassar berkisar 0°C hingga $7,25^{\circ}\text{C}$.

Secara umum fenomena UHI ini merupakan fenomena yang menggambarkan sebaran suhu yang lebih tinggi di pusat kota (urban) dibandingkan dengan sebaran suhu yang berada di daerah pinggiran kota (suburban) (Nainggolan, 2020). Namun hasil studi ini menunjukkan fenomena UHI yang sebaliknya, titik panas (hotspot) di Kota Makassar lebih terkonsentrasi pada daerah pinggiran kota (suburban) dibanding daerah pusat kota (urban). Penentuan area urban dan suburban pada penelitian ini mengacu pada Lanta (2012) yang didasarkan atas kepadatan penduduk dan jenis tutupan lahan. Sebaran UHI lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta Sebaran Urban heat island di Kota Makassar

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4, dapat dilihat suhu UHI di Kota Makassar tersebar di seluruh kecamatan. Luasan UHI 1, UHI 2, dan UHI 3 lebih banyak pada Kecamatan Biringkanaya, sedangkan UHI 4 lebih banyak pada Kecamatan Manggala. Hal ini menunjukkan sebaran UHI lebih banyak terkonsentrasi pada daerah suburban.

Berdasarkan dari penjelasan di atas, dapat dilihat perbedaan suhu di wilayah pusat kota (urban) dibanding daerah tepi kota (suburban) mencapai $0-2,69^{\circ}\text{C}$. Selisih tersebut disebabkan oleh kondisi dan fungsi lahan antar masing-masing area. Berdasarkan hasil analisis, suhu tinggi di kawasan suburban umumnya terdapat pada sekitar kawasan industri khususnya di Kecamatan

Tamalanrea dan Kecamatan Biringkanaya. Sektor industri merupakan penghasil gas emisi ketiga terbesar yang dapat mempengaruhi peningkatan suhu [11].

Pada Tabel 3 di bawah menunjukkan secara hubungan sebaran tinggi rendahnya UHI terhadap kondisi dan aktivitas dari jenis tutupan lahan yang mana pada wilayah kajian yang paling berkontribusi meningkatkan suhu. Berdasarkan hasil observasi dan tabel tersebut diketahui bahwa tutupan lahan dengan fungsi TPA merupakan tutupan lahan yang dominan mengalami UHI tertinggi (UHI 4), tutupan lahan dengan fungsi lahan kosong dan lapangan (dengan kondisi vegetasi yang cenderung kering) dominan mengalami UHI 3, sektor tutupan lahan industri (di sekitar sektor industri) dominan mengalami UHI 2 dan sektor tutupan lahan permukiman dominan paling banyak mengalami UHI khususnya UHI 1. Berdasarkan kajian di atas dan Tabel 2 sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa aktivitas dari sektor persampahan dan kurangnya ruang terbuka hijau merupakan aktivitas yang paling berkontribusi meningkatkan suhu di Kota Makassar, sedangkan sektor permukiman merupakan sektor dengan aktivitas yang paling banyak mengalami peningkatan suhu. Secara lebih detail hubungan sebaran UHI terhadap kondisi dan jenis tutupan lahan dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Tabel 3. Jenis Tutupan Lahan yang Terdampak UH

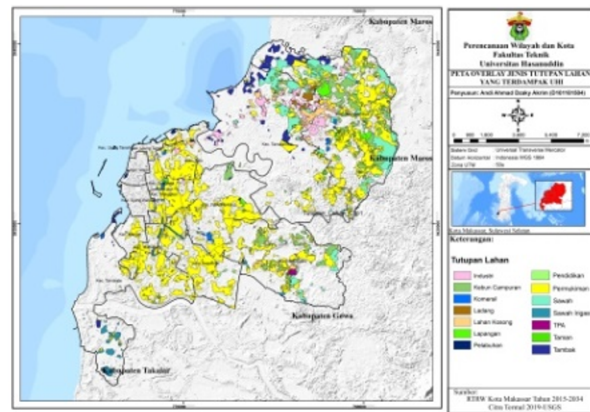
No.	Fungsi lahan	Luas (Ha)	UHI yang Dominan
1	Industri	301.12	UHI 2
2	Kebun Campuran	716.03	UHI 2, UHI 3
3	Komersil	80.30	UHI 1
4	Ladang	69.44	UHI 2, UHI 1
5	Lahan kosong	2,56	UHI 2, UHI 3
6	Lapangan	83.69	UHI 1, UHI 2, UHI 3
7	Pelabuhan	8.07	UHI 1
8	Pendidikan	16,27	UHI 1
9	Permukiman	3419.02	UHI 1, UHI 2
10	Sawah	756.54	UHI 2, UHI 3
11	Sawah Irigasi	104.85	UHI 1
12	Taman	31.18	UHI 1
13	Tambak	292.88	UHI 1, UHI 2
14	TPA	13.6	UHI 4

Berdasarkan Gambar 6, dapat dilihat klasifikasi UHI 1 dengan selang 0°C hingga 2°C secara visual umumnya pola sebaran titik panas kategori ini dominan terjadi pada sektor tutupan lahan atau sektor permukiman, sebagian kecil terjadi pada industri, komersil, pelabuhan, sebagian lahan kosong, sebagian kebun campuran dan sebagian persawahan yang berdekatan dengan tutupan lahan permukiman.

Klasifikasi UHI 2 dengan rentang 2°C hingga

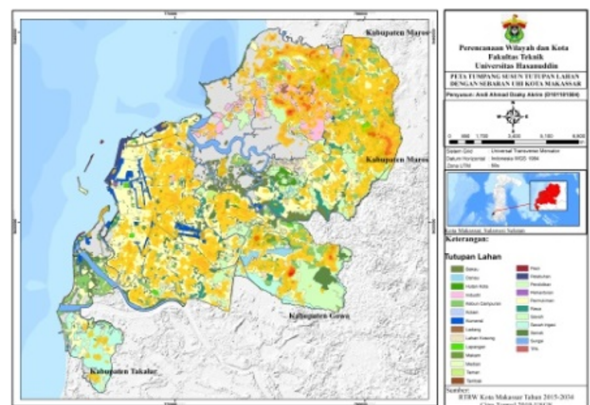
4°C pada Gambar 6 menunjukkan bahwa titik panas kategori ini terjadi pada sektor permukiman, industri, sebagian lapangan, sebagian lahan kosong, sebagian kebun campuran, dan sebagian persawahan. lahan tak terbangun ini umumnya berada di sekitar tutupan lahan terbangun seperti tempat pembuangan sampah akhir, industri, dan permukiman.

Klasifikasi UHI 3 dengan rentang 4°C hingga 6°C pada Gambar 6 konsentrasi sebaran panas ini dominan terjadi pada tutupan lahan tak terbangun seperti lapangan, sebagian lahan kosong, sebagian kebun campuran, dan sebagian persawahan.



Gambar 5. Peta Jenis Tutupan Lahan yang Terdampak UHI

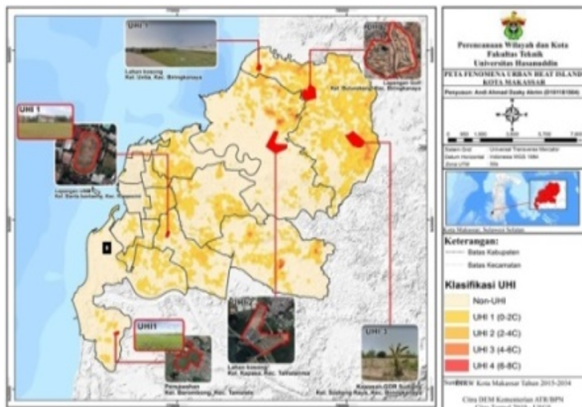
Klasifikasi UHI 4 dengan rentang 6°C hingga 8°C pada Gambar 6 menunjukkan bahwa titik penyebaran klasifikasi ini di Kota Makassar sangat sedikit. Titik panas UHI 4 sebagian besar terpusat pada sektor TPA dan lahan kosong di sekitar industri.



Gambar 6. Peta Sebaran Urban Heat Island terhadap Jenis Tutupan Lahan

Berdasarkan kajian di atas juga menunjukkan sebaran urban heat island memiliki kecenderungan terjadi pada aktivitas sektor permukiman atau tutupan lahan terbangun, namun untuk suhu UHI yang lebih tinggi cenderung terjadi pada tutupan lahan tak terbangun khususnya pada RTH. Padahal secara umum konsep UHI adalah interaksi termal matahari terhadap tutupan lahan terbangun memberikan suhu yang lebih tinggi dibanding tutupan lahan tak terbangun [12]. Berdasarkan hasil observasi, hal ini disebabkan karena kondisi vegetasi pada daerah tersebut memiliki vegetasi jarang dan cenderung kering sehingga proses evapotranspirasi yang terjadi pada area tersebut sangat kurang. Kondisi vegetasi tersebut lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 7.

Berdasarkan hasil kajian, menunjukkan pola sebaran urban heat island dipengaruhi oleh kondisi dan aktivitas jenis-jenis tutupan lahan. Pola sebaran UHI terdistribusi mengikuti sebaran jenis-jenis tutupan lahan tertentu khususnya pada tutupan lahan terbangun. Disisi lain, pertumbuhan dan pembentukan tutupan lahan ini dipengaruhi oleh pusat-pusat kegiatan. Pusat kegiatan akan mendorong pertumbuhan penggunaan lahan yang berbeda-beda disekitar titik-titik pusat kegiatan kota [13]. Perbedaan pusat kegiatan ini yang mempengaruhi suhu daerah suburban Kota Makassar lebih tinggi dibanding daerah urban Kota Makassar.



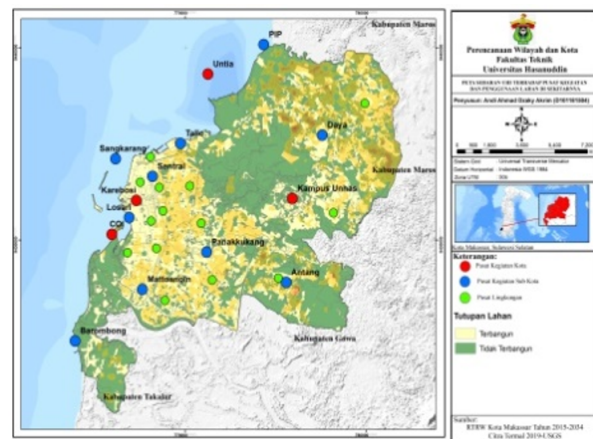
Gambar 7. Peta Kondisi Tutupan Lahan Tak Terbangun yang Terdampak UHI

Pusat-pusat kegiatan di Kota Makassar diatur dalam RTRW Kota Makassar 2015-2034 yang dibagi menjadi 3 cluster, yakni pusat kegiatan kota (PPK), pusat kegiatan sub-kota (Sub-PPK), dan pusat kegiatan lingkungan (PL). Berdasarkan hasil analisis menunjukkan sebaran urban heat island dominan terdistribusi di sekitar pusat-pusat kegiatan sub-kota dan pusat lingkungan dibanding pusat kegiatan kota.

Pusat kegiatan yang di maksud lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah.

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa pusat kegiatan Kawasan Daya, Kawasan Antang, Kawasan Tallo lebih besar mengalami peningkatan suhu UHI, sedangkan pusat kegiatan kota seperti Karebosi dan perdagangan dan jasa di sekitarnya tidak mengalami peningkatan suhu UHI. Berdasarkan hasil kajian, hal ini dapat terjadi karena fungsi Kawasan Karebosi mendorong aktivitas ruang terbuka hijau sehingga dapat menurunkan temperatur dalam skala lokal, sedangkan fungsi Kawasan Daya mendorong pertumbuhan aktivitas industri yang berakibat pada efek gas rumah kaca.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa sebaran urban heat island di pusat Kota Makassar (urban) sangat tipis dibanding daerah suburban disebabkan oleh fungsi pusat kegiatan kota karebosi yang berada di daerah urban sebagai ruang terbuka hijau yang menurunkan suhu di sekitar kawasan tersebut.



Gambar 8. Peta Overlay Sebaran Urban Heat Island terhadap Pusat Kegiatan

Dari kajian di atas, dapat disimpulkan bahwa pola sebaran urban heat island Kota Makassar lebih terdistribusi di sekitar area suburban. Titik panas (hotspot) di area pusat urban sangat tipis disebabkan oleh fungsi pusat kegiatan kota karebosi yang berada di daerah urban sebagai ruang terbuka hijau yang menurunkan suhu di sekitar kawasan tersebut.

Pola sebaran UHI di Kota Makassar dominan terdistribusi mengikuti pola sebaran tutupan lahan terbangun di sekitar pusat lingkungan dan pusat kegiatan sub-urban seperti panakkukang, Tallo, Sentral, Panakkukang, Antang dan Daya. Persebaran UHI 1 terjadi pada sektor permukiman, komersil, dan pelabuhan, UHI 2 terjadi pada sektor tutupan lahan industri, sebagian permukiman, dan lahan tak

terbangun. UHI 3 terjadi pada sektor di lahan tak terbangun dengan kondisi vegetasi cenderung kering, UHI 4 terdistribusi pada sektor TPA dan sebagian lahan kosong.

3.2.3. Rekomendasi terhadap Wilayah yang Terdampak Urban Heat Island

Rekomendasi mitigasi UHI disusun berdasarkan konsep pembangunan berkelanjutan dengan memperhatikan aktivitas-aktivitas di perkotaan yang dapat menyebabkan peningkatan suhu. Berdasarkan Tabel 2 sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan bahwa secara garis besar peningkatan suhu disebabkan oleh gas emisi yang disebabkan oleh aktivitas penggunaan energi pada setiap jenis-jenis tutupan lahan dan juga kurangnya kemampuan vegetasi dalam menyerap sinar matahari.

Maka dari itu, peneliti merangkum sejumlah pedoman dan penelitian terdahulu mengenai rekomendasi mitigasi dengan konsep pembangunan berkelanjutan pada sektor penggunaan energi dan penghijauan. Adapun rekomendasi UHI yang telah dirangkum lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah.

Berdasarkan rekomendasi Tabel 4 di atas, dapat disusun rekomendasi UHI di Kota Makassar. Rekomendasi UHI disusun berdasarkan Tabel 4 dengan memperhatikan karakteristik tutupan lahan di sekitar pusat kegiatan terhadap potensi fenomena UHI 20 tahun yang datang. Kawasan pusat kegiatan dikelompokkan menjadi 3 kawasan yakni bagian barat, bagian timur, dan bagian selatan. Hal ini didasarkan atas kondisi tutupan lahan di bagian barat yang lebih padat dibanding bagian timur dan bagian selatan, sehingga dibutuhkan penyesuaian arahan rekomendasi.

Berdasarkan hasil kajian di atas, wilayah disekitar klasifikasi UHI 1 umumnya terdapat ruang terbuka hijau sehingga klasifikasi UHI 1 mitigasi yang disarankan untuk tutupan lahan terbangun pada semua bagian kawasan lebih berfokus pada penurunan penggunaan energi seperti pemanfaatan listrik hemat energi, penerapan teknologi bersih untuk transportasi pribadi, dan pemanfaatan transportasi umum. Untuk kawasan pusat kegiatan di bagian disarankan untuk melakukan penghijauan green building pada gedung-gedung seperti rumah susun dan mall.

Klasifikasi UHI 2 untuk tutupan lahan industri di bagian barat disarankan untuk menggunakan energi terbarukan sebagai pengganti bahan bakar fosil dan melakukan penghijauan berupa Green wall dan Greening parking lots, hal ini dilakukan mengingat bagian barat merupakan kawasan dengan kepadatan bangunan tinggi. Sedangkan untuk penggunaan lahan industri di bagian timur dengan

kepadatan sedang selain disarankan menggunakan energi terbarukan juga disarankan untuk memanfaatkan Carbon Capture and Storage (CCS) dan penghijauan di sekitar bangunan. Pada tutupan lahan permukiman disarankan untuk memanfaatkan listrik hemat energi, menerapkan teknologi bersih untuk transportasi pribadi, khusus di bagian barat timur disarankan untuk Vegetation around building dan bagian barat melakukan penghijauan dengan Green wall dan untuk rumah susun ditambahkan Green roofs. Untuk lahan tak terbangun disarankan untuk melakukan penghijauan dan penanaman varietas rendah emisi

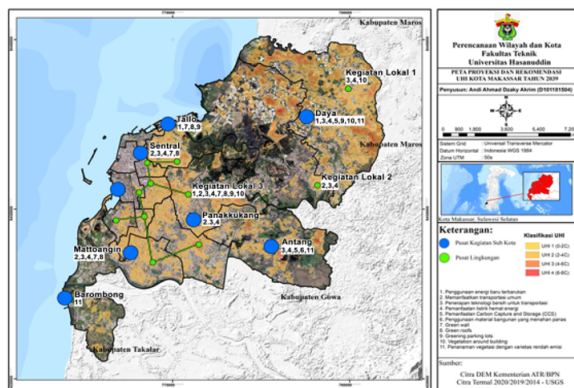
Tabel 4. Rekomendasi Mitigasi Urban Heat Island

No.	Penggunaan Energi (Gas emisi)	Penghijauan (Penyerapan emisi)
1	Penggunaan Energi Baru Terbarukan untuk Supply Listrik	Green wall, adanya penambahan vegetasi pada dinding bangunan (Komersil, permukiman)
2	Memanfaatkan transportasi umum	Green roofs, adanya penambahan vegetasi pada atap bangunan (Komersil, Permukiman mariso)
3	Penerapan teknologi bersih untuk transportasi	Greening parking lots, adanya penanaman vegetasi disekitar area tempat parkir atau pembuatan area parkir dengan tutupan vegetasi bukan aspal (Komersil dan industri, lahan tak terbangun)
4	Pemanfaatan listrik hemat energi	Vegetation around building, adanya pembangunan taman kecil atau penanaman vegetasi disekitar bangunan (Industri, Permukiman)
5	Pemanfaatan Carbon Capture and Storage (CCS)	Penanaman vegetasi dengan varietas rendah emisi (Lahan tak terbangun)
6	Penggunaan material bangunan dan perkerasan yang tidak menahan panas (nilai albedo tinggi)	-

(Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup, 2018 [14] [14], Kementerian Lingkungan Hidup, 2021 [15], Giguerra M., 2012 [16]), dimodifikasi penulis (2022))

Klasifikasi UHI 3 dominan terjadi pada lahan tak terbangun seperti lahan kosong, lapangan, kebun campuran, di bagian timur yang berdekatan dengan tutupan lahan, tutupan lahan ini umumnya memiliki kondisi vegetasi yang jarang dibanding klasifikasi UHI 1 dan UHI 2. Maka dari itu, mitigasi yang disarankan berupa penghijauan pada lahan kering dan penanaman varietas khusus rendah emisi pada tutupan lahan pertanian dan perkebunan.

Klasifikasi UHI 4 pada tutupan lahan TPA disarankan untuk melakukan pemanfaatan Carbon Capture and Storage (CCS). Apabila direncanakan pembangunan di sekitar TPA disarankan menggunakan material dengan nilai albedo yang tinggi, untuk lahan kosong disarankan untuk melakukan penghijauan. Secara spasial dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Peta Rekomendasi Urban Heat Island terhadap Tutupan Lahan yang Terdampak

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan hasil untuk pertanyaan penelitian pertama bahwa terdapat 10 aktivitas perkotaan baik dari antropogenik tutupan lahan perkotaan maupun aktivitas dari kondisi lingkungan yakni operasional kendaraan bermotor/penggunaan bahan bakar fosil, alih fungsi

lahan/eksploitasi ruang terbuka hijau, konstruksi material bangunan, aktivitas sektor industri, aktivitas sektor permukiman, aktivitas sektor perbelanjaan, pariwisata, perkantoran, persampahan, dan sektor pendidikan.

Untuk pertanyaan penelitian kedua didapatkan hasil bahwa suhu urban heat island di Kota Makassar berkisar 0°C hingga $7,25^{\circ}\text{C}$ yang tersebar di seluruh kecamatan dengan luas wilayah yang terkena fenomena urban heat island di Kota Makassar seluas 6090,21 Ha. Persebaran UHI 1 dan UHI 2 dominan terjadi area perkotaan (urban), sedangkan persebaran UHI 3, dan 4 dominan terjadi di kegiatan suburban. Titik panas (hotspot) di area urban sangat tipis disebabkan karena fungsi pusat kegiatan kota kareboisasi ruang terbuka hijau yang menurunkan suhu di sekitar kawasan tersebut.

Untuk pertanyaan penelitian ketiga didapatkan hasil bahwa mitigasi yang dirumuskan berupa upaya penurunan gas emisi dan penghijauan kondisi vegetasi dengan memperhatikan karakteristik tutupan lahan.

Pada penelitian ini masih banyak kekurangan, maka dari itu peneliti memberikan saran untuk keberlanjutan penelitian ini. Adapun saran pada penelitian ini yakni pada pengukuran suhu sebaiknya ruang lingkup penelitian mencakup wilayah di sekitar atau di luar Kota Makassar, hal ini disebabkan suhu Kota Makassar dipengaruhi oleh daerah di sekitar Kota Makassar. Selain itu, sebaiknya dalam pengukuran suhu permukaan menambahkan parameter Normalized Difference Building Index (NBDI) atau menggunakan metode lain dengan alat perekam termal agar hasil yang didapatkan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Iyengar, "Environmental Damage to Land Resource: Need to Improve Land Use Data Base," *Economic and Political Weekly*, pp. 3596–3604, 2003.
- [2] N. Handayani, "Identifikasi Perubahan Kapasitas Panas Kawasan Perkotaan Dengan Menggunakan Citra Landsat TM/ETM+ (Studi Kasus: Kodya Bogor)," 2007.
- [3] A. Y. Nofrizal, F. Walad, E. S. Permana, S. Anwar, and Y. Antomi, "Identifikasi Perubahan Penggunaan Lahan di Kota Solok, Sumatera Barat Berbasis Penginderaan Jauh dan SIG dengan menggunakan Object Base Image Analyst (OBIA)." Seminar Nasional GEOTIK 2018, 2018.
- [4] B. Pradana, N. M. Ariani, and A. Pugara, "Pengaruh Penggunaan Lahan terhadap Suhu Permukaan di Kabupaten Pekalongan Tahun 2020," *Kajen: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pembangunan*, vol. 4, no. 02, pp. 92–100, 2020.
- [5] J. A. Voogt, "Urban heat island," 2000.
- [6] F. Musco, *Counteracting urban heat island effects in a global climate change scenario*. Springer Nature, 2016.
- [7] E. A. Giofandi, "Persebaran Fenomena Suhu Tinggi melalui Kerapatan Vegetasi dan Pertumbuhan Bangunan serta Distribusi Suhu Permukaan," *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian*, vol. 17, no. 2, pp. 56–62, 2020.
- [8] M. Z. T. Naf and R. Hernawati, "Analisis fenomena UHI (Urban Heat Island) berdasarkan hubungan antara kerapatan vegetasi dengan suhu permukaan," *ITB Indonesian Journal of Geospatial*, vol. 5, no. 1, pp. 25–36, 2018.

- [9] S. Iskandar and D. Djuanda, "Analisis Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor di Kota Makassar," *Teknologi*, vol. 19, no. 1, pp. 1–10, 2018.
- [10] U. Avdan and G. Jovanovska, "Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data," *Journal of sensors*, vol. 2016, pp. 1–8, 2016.
- [11] K. Energi dan Sumber Daya Mineral, "Inventarisasi emisi GRK bidang energi," *Jakarta Pusat: Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral*, 2020.
- [12] N. I. Fawzi, "Mengukur urban heat island menggunakan penginderaan jauh, kasus di Kota Yogyakarta," *Majalah Ilmiah Globe*, vol. 19, no. 2, pp. 195–206, 2017.
- [13] P. Basundoro, "Dari Kampung Desa ke Kampung Kota: Perubahan Ekologi Kota Surabaya dalam Perspektif Permukiman pada Masa Kolonial," *Jantra Jurnal Sejarah dan Budaya*, vol. 5, no. 10, pp. 845–861, 2010.
- [14] P. P. A. M. P. Iklim, *Pedoman Penentuan Aksi Mitigasi Perubahan Iklim*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2018.
- [15] T. Jałowiec, H. Wojtaszek, and I. Miciuła, "Analysis of the potential management of the low-carbon energy transformation by 2050," *Energies*, vol. 15, no. 7, p. 2351, 2022.
- [16] A. Aflaki, M. Mirnezhad, A. Ghaffarianhoseini, A. Ghaffarianhoseini, H. Omrany, Z.-H. Wang, and H. Akbari, "Urban heat island mitigation strategies: A state-of-the-art review on Kuala Lumpur, Singapore and Hong Kong," *Cities*, vol. 62, pp. 131–145, 2017.



© 2023 by the authors. Licensee LINEARS, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>).