

PENGUKURAN MIKROKLIMAT PERKOTAAN BERBASIS SENSOR CERDAS: STUDI KASUS PERUBAHAN SUHU DAN KELEMBABAN DI KOTA KENDARI

Rahma Hiromi¹, Rustam Efendi², Alwan³, Sekar Alim Padar⁴, Edy
Abdurrahman Syahrir⁵, Sabrilah Taridalla⁶, Arifin⁷

^{1,3,4,5,6}Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik,
Universitas Sulawesi Tenggara

²Program Studi Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Tenggara

⁷Mahasiswa Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik,
Universitas Sulawesi Tenggara

¹Email: hiromiramli@gmail.com

Diterima (received): 11 Desember 2025 Disetujui (accepted): 27 April 2026

ABSTRAK

Urbanisasi cepat dan perubahan iklim memperparah efek pulau panas perkotaan (UHI) yang menantang kualitas lingkungan di kota-kota tropis. Namun, studi empiris mengenai mikroklimat di kota berukuran sedang masih terbatas. Studi ini bertujuan menganalisis variasi suhu udara dan kelembapan relatif pada empat jenis penggunaan lahan (pendidikan, perumahan, terminal, pasar) di Kecamatan Baruga, Kendari, serta mengidentifikasi faktor penyebabnya. Pendekatan kuantitatif dan eksperimental lapangan digunakan dengan mengukur suhu dan kelembapan di 30 titik menggunakan data logger. Pengukuran dilakukan siang dan sore selama dua minggu, lalu dianalisis dengan statistik deskriptif, One-Way ANOVA, dan uji Tukey HSD. Hasilnya menunjukkan perbedaan suhu signifikan pada siang hari ($F(3, 116) = 4.21, p = 0.007$), dengan area pasar terpanas ($34,50^{\circ}\text{C}$) dan terminal terdingin ($32,18^{\circ}\text{C}$). Area dengan ruang hijau luas (pendidikan dan perumahan) lebih sejuk. Tidak ada perbedaan signifikan pada sore hari maupun untuk kelembapan relatif. Kesimpulannya, penggunaan lahan berpengaruh signifikan terhadap mikroklimat perkotaan di siang hari. Permukaan tidak permeable meningkatkan suhu, sementara vegetasi berperan krusial dalam mitigasi UHI. Hal ini menekankan pentingnya integrasi ruang hijau dalam perencanaan kota tropis.

Kata Kunci: Kota Pulau Panas, Mikroklimat, Penggunaan Lahan.

A. PENDAHULUAN

Perubahan iklim global yang semakin intensif bersamaan dengan pertumbuhan urbanisasi telah menjadi perhatian serius dalam menjaga kualitas lingkungan perkotaan di berbagai belahan dunia (Ren et al., 2022; Saxena & Pollution, 2025). Salah satu konsekuensi nyata dari kondisi ini adalah munculnya fenomena urban heat island (UHI), yang erat kaitannya dengan peningkatan kepadatan penduduk dan alih fungsi ruang hijau menjadi kawasan terbangun (Tian et al., 2021)(Arshad et al., 2022). Studi ini diperkuat oleh (Santamouris, 2020), suhu udara di kota dapat lebih tinggi $1-3^{\circ}\text{C}$ dibandingkan wilayah non-perkotaan, sehingga berdampak pada kenyamanan termal, kesehatan, hingga meningkatnya kebutuhan energi. Tantangan tersebut semakin penting di negara tropis seperti Indonesia yang rentan terhadap kenaikan suhu dan kelembapan. Pada skala nasional, data Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan urbanisasi terus meningkat, dengan 56% penduduk tinggal di

kota pada 2022 dan diperkirakan mencapai 66% pada 2035. Perkembangan ini mendorong perubahan signifikan dalam tata guna lahan, khususnya berkurangnya ruang terbuka hijau (RTH). (Rahman et al., 2023) menegaskan bahwa alih fungsi lahan hijau menjadi area komersial maupun permukiman memicu perubahan mikroklimat perkotaan, terutama dalam aspek suhu dan kelembapan.

Dalam konteks lokal, Kota Kendari sebagai ibukota Provinsi Sulawesi Tenggara mengalami perkembangan pesat, baik dari aspek permukiman, perdagangan, maupun infrastruktur. Pertumbuhan ini memicu perubahan fungsi lahan yang berimplikasi terhadap kondisi mikroklimat. Sebagai kota pesisir tropis, Kendari menghadapi tantangan unik terkait keseimbangan suhu dan kelembapan yang berpengaruh pada kenyamanan termal penduduknya. Studi oleh (Alwan et al., 2020; Laode et al., 2022) menemukan adanya variasi suhu signifikan antara kawasan padat permukiman dan kawasan hijau di Kendari.

Mikroklimat perkotaan dipengaruhi oleh faktor tata guna lahan yang beragam, seperti kawasan permukiman, perdagangan, industri, serta ruang terbuka hijau. Perbedaan karakteristik permukaan lahan, tingkat vegetasi, dan kepadatan bangunan memengaruhi tingkat penyerapan panas dan kelembapan udara (Ali-Toudert & Mayer, 2021). Oleh karena itu, penting untuk menganalisis variasi suhu dan kelembapan berdasarkan tipe penggunaan lahan untuk memahami pola distribusi mikroklimat di suatu wilayah. Beberapa penelitian terdahulu menyoroti hubungan antara tata guna lahan dan kondisi mikroklimat perkotaan. Misalnya, (Zhang et al., 2021) mengidentifikasi bahwa kawasan dengan dominasi vegetasi memiliki suhu lebih rendah dan kelembapan lebih stabil dibanding kawasan dengan bangunan padat. Namun sebagian besar penelitian lebih berfokus pada kota besar seperti Jakarta, Surabaya, atau Bandung, sementara kota menengah seperti Kendari relatif kurang mendapat perhatian dalam kajian mikroklimat perkotaan. Kesenjangan penelitian terlihat pada keterbatasan studi yang menghubungkan variasi mikroklimat dengan tipe penggunaan lahan dalam skala lokal. Penelitian sebelumnya lebih banyak menggunakan citra satelit untuk menganalisis suhu permukaan, tetapi masih jarang dilakukan pengukuran langsung suhu dan kelembapan udara di tingkat kelurahan. Menurut (Nugroho et al., 2020), pendekatan berbasis pengukuran lapangan dapat memberikan hasil yang lebih detail dalam memahami dinamika mikroklimat.

Penelitian ini berusaha menjawab kesenjangan tersebut dengan melakukan analisis mikroklimat perkotaan berbasis pengukuran langsung suhu dan kelembapan pada empat tipe penggunaan lahan di Kelurahan Baruga, Kota Kendari. Kajian ini tidak hanya penting bagi pengembangan ilmu pengetahuan, tetapi juga relevan bagi perencanaan tata kota yang berkelanjutan. Hasil penelitian dapat menjadi dasar dalam perumusan kebijakan penyediaan RTH, pengelolaan tata guna lahan, serta mitigasi dampak UHI di Kendari. Secara teoritis, penelitian ini merujuk pada konsep ekologi perkotaan yang menekankan interaksi antara manusia, lingkungan buatan, dan sistem alam dalam memengaruhi kondisi iklim lokal (Grimm et al., 2021). Dengan mengkaji perbedaan suhu dan kelembapan antar tipe penggunaan lahan, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya pemahaman tentang dinamika mikroklimat di kota tropis, sekaligus memperkuat literatur mengenai hubungan antara tata guna lahan dan iklim perkotaan.

Berdasarkan kesenjangan penelitian yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variasi suhu dan kelembapan udara pada empat tipe penggunaan lahan di Kelurahan Baruga, Kota Kendari, serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi variasi mikroklimat tersebut. Hipotesis yang diajukan adalah bahwa terdapat perbedaan signifikan suhu dan kelembapan udara pada masing-masing tipe penggunaan lahan yang diteliti.

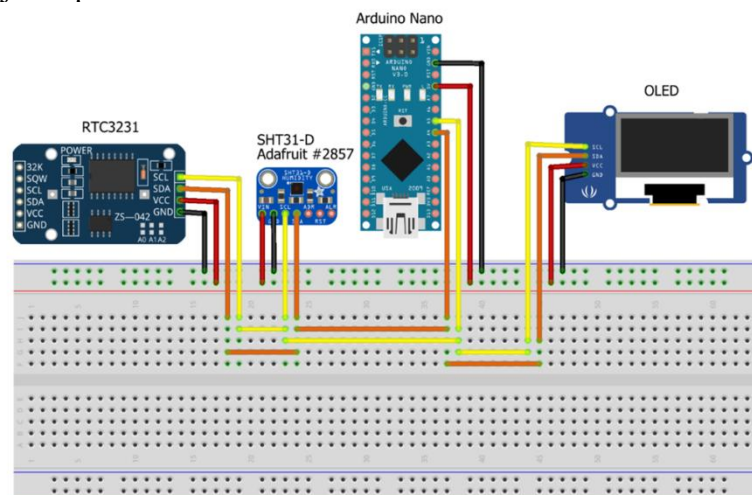
B. METODE

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan desain eksperimen lapangan yang dirancang untuk mengukur dan membandingkan kondisi suhu serta kelembapan udara pada empat tipe penggunaan lahan di Kelurahan Baruga. Pengumpulan data dilakukan secara real-time dan berkesinambungan dengan memanfaatkan sensor hygrometer berbasis mikrokontroler, sehingga mampu merekam perubahan parameter iklim mikro secara akurat dan berkelanjutan.

Rancangan penelitian ini bersifat komparatif, dengan unit analisis berupa titik-titik lokasi pemantauan yang merepresentasikan empat kawasan berbeda, yaitu kawasan pendidikan, kawasan perumahan, kawasan terminal, dan kawasan pasar. Melalui pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran empiris mengenai variasi suhu dan kelembaban di masing-masing jenis penggunaan lahan, sekaligus menjadi dasar dalam memahami pengaruh aktivitas manusia terhadap dinamika lingkungan mikro perkotaan.

1. Spesifikasi Alat dan Bahan

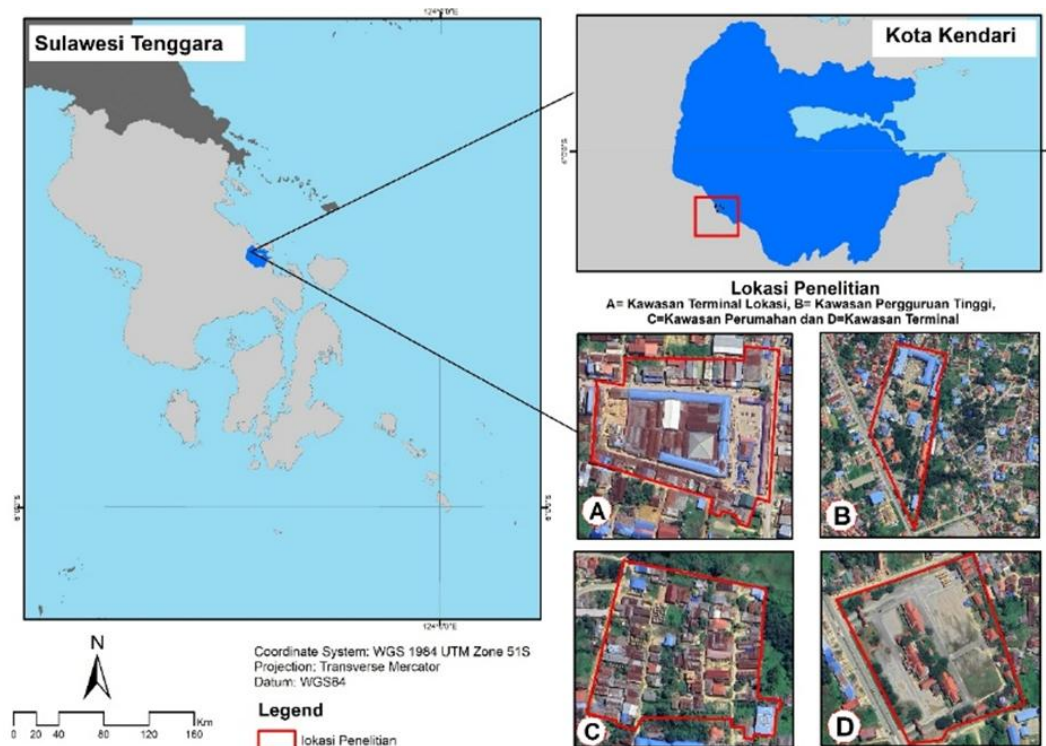
Komponen yang digunakan pada penelitian ini adalah tiga buah Arduino Nano (mikrokontroler yang berfungsi untuk memproses semua sensor), Adafruit SHT31-D (sensor pembaca suhu dan kelembapan), RTC DS3231 (pengatur waktu secara real time), Modul SD Card, LCD Crystal 16x2 I2C (display suhu dan kelembapan) dan sumber daya Adaptor 5V. Seluruh komponen dirangkai menjadi sebuah data logger portabel yang ditempatkan dalam box pelindung. Skema data logger disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Hygrometer Berbasis Mikrokontroler

2. Lokasi dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian dilaksanakan di empat kawasan di Kelurahan Baruga, Kota Kendari (Gambar 2). Pengambilan data lapangan dilakukan selama dua minggu pada bulan September 2025, yang merupakan puncak musim kemarau di wilayah tersebut. Pemilihan waktu ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi cuaca yang relatif stabil (cerah dan minim hujan) agar variabel suhu dan kelembapan tidak terlalu dipengaruhi oleh dinamika cuaca harian yang ekstrem (Susilo, 2021). Pengamatan dilakukan pada hari-hari dengan kondisi cuaca serupa untuk memastikan konsistensi data.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

3. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Pengamatan lapangan dilakukan pada 30 titik sampling yang didistribusikan secara sistematis (metode grid) di setiap kawasan untuk memastikan representativitas spasial. Setiap titik mewakili area dengan tutupan lahan dominan (>70% dalam radius 10 meter) untuk mengurangi efek mikro lainnya. Data suhu dan kelembapan direkam pada dua periode waktu: siang hari (12.00–13.00 WITA) untuk merepresentasikan puncak panas radiasi matahari, dan sore hari (16.00–17.00 WITA) untuk merepresentasikan periode pendinginan. Tipe penggunaan lahan diklasifikasikan berdasarkan citra. Data penutup lahan (land cover) ditafsirkan dengan klasifikasi supervised (maksimum likelihood), dikonfirmasi melalui observasi lapangan.

Data dianalisis secara kuantitatif menggunakan statistik deskriptif dan inferensial dengan bantuan perangkat lunak SPSS. Tahapan analisis meliputi: (1) Statistik Deskriptif: Menghitung nilai rata-rata (mean) dan deviasi standar (standard deviation) untuk suhu dan kelembapan di setiap tipe kawasan pada setiap periode

pengamatan. (2) Uji Inferensial: Untuk menguji hipotesis, digunakan Analisis Varians Satu Arah (One-Way ANOVA) untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan signifikan suhu dan kelembaban rata-rata di antara keempat tipe kawasan. Tingkat signifikansi yang digunakan adalah $p < 0,05$. Jika hasil ANOVA menunjukkan perbedaan signifikan, akan dilanjutkan dengan uji Tukey HSD (Honestly Significant Difference) untuk mengidentifikasi pasangan kawasan mana yang memiliki perbedaan yang signifikan.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

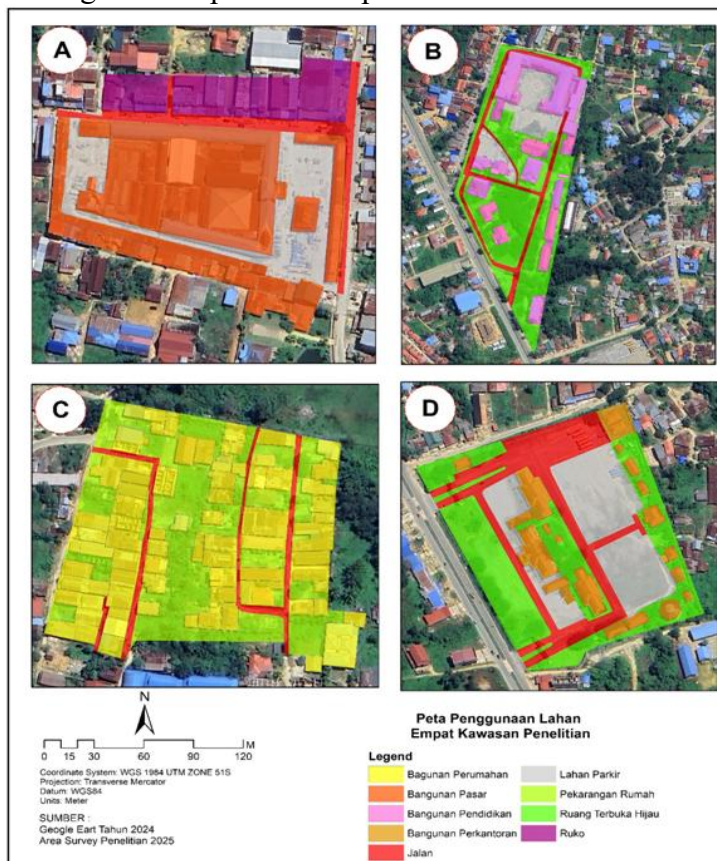
Analisis menunjukkan variasi yang signifikan dalam penggunaan lahan di empat wilayah di Kecamatan Baruga. Wilayah pasar (2,79 ha) dan terminal (4,07 ha) didominasi oleh bangunan, jalan, dan area parkir permukaan yang tidak permeabel yang berpotensi meningkatkan suhu udara lokal dan mengurangi kelembapan akibat evapotranspirasi yang minimal. Sebaliknya, kawasan pendidikan (6,88 ha) memiliki proporsi ruang terbuka hijau terbesar (3,14 ha atau 45,64%), yang berfungsi sebagai penyerap panas dan penyangga kelembapan, sehingga menjadikawasadengankondisimikroklimat paling stabil. Area perumahan (2,40 ha) menunjukkan komposisi yang seimbang antara bangunan perumahan (56,25%) dan kebun rumah (37,5%), yang berfungsi sebagai penyangga alami, meskipun pada skala yang lebih kecil dibandingkan dengan ruang hijau di area pendidikan. Distribusi tutupan lahan secara rinci ditampilkan dalam Tabel 1 dan Gambar 3.

Tabel 1. Jenis Penggunaan Lahan

Kawasan	Jenis Penggunaan Lahan	Luas (Ha)
Kawasan Pasar	Bangunan Pasar	1,55
	Jalan	0,22
	Lahan Parkir	0,52
	Ruko	0,49
Jumlah		2,79
Kawasan Pendidikan	Bangunan Pendidikan	2,06
	Jalan	0,77
	Lahan Parkir	0,91
	Ruang Terbuka Hijau	3,14
Jumlah		6,88
Kawasan Perumahan	Bangunan Perumahan	1,35
	Jalan	0,15
	Pekarangan Rumah	0,9
Jumlah		2,4
Kawasan Terminal	Bangunan Perkantoran	0,63
	Jalan	0,93
	Lahan Parkir	1,13
	Ruang Terbuka Hijau	1,38
Jumlah		4,07

Temuan penelitian ini menunjukkan konsistensi yang kuat dengan hasil berbagai studi terdahulu yang meneliti keterkaitan antara perubahan tata guna lahan dan fenomena Urban Heat Island (UHI). (Santamouris, 2020; Zhang et al., 2021) menjelaskan bahwa peningkatan intensitas permukaan kedap air, terutama di kawasan perdagangan, jasa, dan transportasi, berkontribusi signifikan terhadap akumulasi panas di wilayah perkotaan. Fenomena ini juga tampak jelas pada kawasan pasar dan terminal Baruga, di mana aktivitas ekonomi yang padat dan minimnya ruang hijau mempercepat proses penyerapan serta penyimpanan panas di permukaan tanah dan bangunan. Sebaliknya, penelitian (Ali-Toudert & Mayer, 2021; Nugroho et al., 2020) menunjukkan bahwa keberadaan vegetasi baik berupa taman, pohon pelindung jalan, maupun pekarangan rumah mampu menurunkan suhu udara secara nyata hingga beberapa derajat Celsius. Kondisi tersebut selaras dengan temuan di kawasan pendidikan dan perumahan Baruga, yang memiliki tutupan vegetasi lebih tinggi sehingga memberikan efek penyejuk alami pada lingkungan sekitarnya.

Selain itu, penelitian (Rahman et al., 2023) menyoroti bahwa konversi lahan hijau menjadi area terbangun merupakan salah satu penyebab utama perubahan iklim mikro di berbagai kota di Indonesia. Dalam konteks ini, studi di kawasan Baruga memberikan nilai tambah dengan menempatkan fokus pada kota menengah seperti Kendari, yang selama ini masih jarang menjadi objek penelitian UHI. Pendekatan komparatif antar kawasan dalam studi ini juga memperkaya pemahaman tentang variasi spasial suhu perkotaan.



Gambar 3. Peta Penggunaan Lahan Empat Kawasan

Hasil pengukuran lapangan diringkas dalam Tabel 2, yang menunjukkan nilai rata-rata dan deviasi standard suhu serta kelembapan untuk setiap kawasan.

Tabel 2. Rata-rata Suhu (°C) dan Kelembapan (%) pada Berbagai Tipe Kawasan

Kawasan	Waktu Pengamatan	Suhu (°C) Mean ± SD	Kelembapan (%) Mean ± SD
Kawasan Pasar	12.00-13.00	34.50 ± 0.96	57.14 ± 5.12
	16.00-17.00	31.73 ± 1.73	66.01 ± 8.85
Kawasan Pendidikan	12.00-13.00	33.46 ± 1.20	57.56 ± 8.48
	16.00-17.00	31.44 ± 0.50	66.22 ± 5.55
Kawasan Perumahan	12.00-13.00	32.95 ± 1.95	61.57 ± 10.73
	16.00-17.00	31.17 ± 1.60	67.96 ± 6.35
Kawasan Terminal	12.00-13.00	32.18 ± 1.43	62.46 ± 6.97
	16.00-17.00	30.70 ± 1.41	67.86 ± 7.15

Hasil uji One-Way ANOVA menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan pada suhu rata-rata antar kawasan pada siang hari ($F(3, 116) = 4.21, p = 0.007$). Uji Tukey HSD mengungkapkan bahwa perbedaan signifikan utama terjadi antara kawasan Pasar (terpanas) dengan kawasan Terminal (lebih sejuk). Pada sore hari, perbedaan suhu tidak lagi signifikan ($F(3, 116) = 1.89, p = 0.136$). Untuk kelembapan, tidak ditemukan perbedaan signifikan antar kawasan baik pada siang ($p > 0.05$) maupun sore hari ($p > 0.05$).

Temuan ini mengonfirmasi hipotesis bahwa tata guna lahan secara signifikan memengaruhi variasi suhu mikroklimat, terutama pada puncak panas siang hari. Kawasan Pasar, dengan dominasi permukaan keras seperti aspal dan beton, mencatat suhu rata-rata tertinggi (34.5°C). Hal ini sejalan dengan teori Urban Heat Island (UHI) dimana material dengan thermal inertia tinggi dan albedo rendah menyerap dan memancarkan kembali panas radiasi matahari secara efektif (Santamouris, 2020). Minimnya vegetasi di kawasan ini menghambat proses pendinginan melalui evapotranspirasi, sehingga suhu udara tetap tinggi. Sebaliknya, kawasan Pendidikan, meskipun memiliki bangunan, berhasil menjaga suhu yang lebih rendah berkat proporsi RTH yang besar. Vegetasi tidak hanya memberikan naungan (shading effect) yang mengurangi radiasi matahari langsung ke permukaan, tetapi juga secara aktif mendinginkan lingkungan sekitar melalui evapotranspirasi (Ali-Toudert & Mayer, 2021). Peran pekarangan di kawasan Perumahan juga terbukti efektif, menunjukkan bahwa vegetasi skala kecil pun memberikan kontribusi berarti dalam mereduksi suhu, sebagaimana dibuktikan oleh suhu terendah di area "Pekarangan Rumah" (30.44°C).

Temuan menarik muncul di Kawasan Terminal, di mana suhu di "Bangunan Perkantoran" (30.55°C) jauh lebih rendah dibandingkan area terbuka di sekitarnya. Observasi lapangan menunjukkan bahwa bangunan ini dicat dengan warna terang (putih) dan memiliki atap yang menjorok (overhanging roof) yang memberikan naungan signifikan pada titik pengamatan. Ini menggarisbawahi pentingnya desain bangunan dan material dengan albedo tinggi sebagai strategi mitigasi UHI di kawasan terbangun padat. Hasil penelitian ini konsisten dengan berbagai kajian

sebelumnya (Rahman et al., 2023; Zhang et al., 2021) dan memberikan bukti empiris baru dari konteks kota menengah tropis. Kontribusi utama penelitian ini adalah penerapan metode pengukuran langsung pada skala mikro (kelurahan) yang mampu mengungkapkan dinamika suhu yang lebih detail dibandingkan pendekatan citra satelit saja (Nugroho et al., 2020).

D. KESIMPULAN

Studi ini berhasil menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan dalam suhu udara di antara jenis penggunaan lahan di Kecamatan Baruga, Kota Kendari, terutama pada siang hari. Area yang didominasi oleh permukaan tidak permeabel (Pasar) cenderung lebih panas, sementara keberadaan vegetasi yang signifikan (Area Pendidikan dan Perumahan) memainkan peran penting dalam menurunkan suhu. Faktor-faktor seperti proporsi ruang terbuka hijau, bahan permukaan, dan desain bangunan merupakan penentu utama variabilitas mikroklimat. Temuan ini menekankan pentingnya mengintegrasikan pertimbangan mikroklimat kedalam perencanaan ruang kota untuk menciptakan kota yang lebih nyaman dan berkelanjutan.

Kontribusi utama penelitian ini adalah penyediaan data empiris rinci tingkat permukaan tentang hubungan antara penggunaan lahan dan mikroklimat di kota tropis berukuran sedang, mengisi celah kritis dalam literatur. Temuan ini memberikan dasar ilmiah bagi pembuat kebijakan di Kendari dan kota-kota serupa untuk merumuskan strategi mitigasi UHI yang terarah, termasuk penyediaan ruang hijau yang wajib dalam pengembangan baru, perlindungan vegetasi yang ada, dan promosi desain bangunan yang sensitif terhadap iklim. Penelitian masa depan harus fokus pada pemantauan dan pemodelan jangka panjang, multi-musim, untuk memprediksi skenario mikroklimat di masa depan di bawah berbagai jalur pengembangan perkotaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Sulawesi Tenggara atas dukungan pendanaan melalui Program Penelitian Internal Universitas Sulawesi Tenggara Tahun 2025. Bantuan dana dan fasilitas yang diberikan telah memungkinkan terlaksananya penelitian ini dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, masukan, serta bantuan selama proses penelitian hingga penyusunan laporan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali-Toudert, F., & Mayer, H. (2021). Effects of urban land use on microclimate and thermal comfort. *Urban Climate*, 39, 100930. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100930>
- Alwan, A., Barkey, R. A., Syafri, S. J. U., & Journal, R. S. (2020). Perubahan penggunaan lahan dan keselarasan rencana pola ruang di Kota Kendari. 3(1), 1-5.
- Arshad, S., Ahmad, S. R., Abbas, S., Asharf, A., Siddiqui, N. A., & ul Islam, Z. J. L. u. p. (2022). Quantifying the contribution of diminishing green spaces and

- urban sprawl to urban heat island effect in a rapidly urbanizing metropolitan city of Pakistan. *113*, 105874.
- Grimm, N. B., Pickett, S. T. A., Hale, R. L., & Cadenasso, M. L. (2021). Does the ecological concept of disturbance have utility in urban social–ecological–technological systems? *Ecosystem Health and Sustainability*, *7*(1), 100–115. <https://doi.org/10.1080/20964129.2020.1867059>
- Laode, A., Yusuf, M., & Rahman, S. (2022). Urban heat island effect in Kendari City: Analysis of land use and microclimate variation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1098*(1), 012054. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1098/1/012054>
- Nugroho, A., Pramono, H., & Susanti, R. (2020). Field-based measurement of urban microclimate in Indonesian cities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *477*(1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/477/1/012022>
- Rahman, H., Sari, D., & Putra, I. (2023). Urban land conversion and its impact on local climate in Indonesian cities. *Sustainability*, *15*(5), 4421. <https://doi.org/10.3390/su15054421>
- Ren, Z., Fu, Y., Dong, Y., Zhang, P., & He, X. J. U. C. (2022). Rapid urbanization and climate change significantly contribute to worsening urban human thermal comfort: A national 183-city, 26-year study in China. *43*, 101154.
- Santamouris, M. (2020). Recent progress on urban overheating and heat island research. *Environmental Research Letters*, *15*(5), 055004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7cfl>
- Saxena, V. J. W., Air., & Pollution, S. (2025). Water quality, air pollution, and climate change: investigating the environmental impacts of industrialization and urbanization. *236*(2), 73.
- Tian, P., Li, J., Cao, L., Pu, R., Wang, Z., Zhang, H., . . . Society. (2021). Assessing spatiotemporal characteristics of urban heat islands from the perspective of an urban expansion and green infrastructure. *74*, 103208.
- Zhang, Y., Li, X., & Wang, J. (2021). Land use and microclimate: Impacts on temperature and humidity in urban areas. *Science of the Total Environment*, *762*, 143093. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143093>