PRIMER: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
2025, Vol. 3, No. 6, 545-555
https://doi.org/10.55681/primer.v3i6.469

Oasis Termal di Tengah Kota: Analisis Peran Vegetasi Kebun Raya Bogor dalam Mereduksi *Urban Heat* Melalui Pendekatan Perpindahan Kalor

Alifah Naurah N.[1], Firda Fauziah[2], Najwa Fauziah Safitri[3], Nur Fatimatuz Zahra Puteri[4], Zulfadewina[5]

[12345]Universitas Muhammadiyah Prof Dr. Hamka (UHAMKA)
Corresponding Author's e-mail : alifahnaurah7@gmail.com, firdafauziah511@gmail.com, nazwa.fauziah281@gmail.com, jiyaaraa14cejie@gmail.com, zulfadewina.26@gmail.com

e-ISSN: 2985-7996

Article History:
Received: 14-11-2025
Revised: 03-12-2025
Accepted: 27-12-2025

© 2025, The Author(s)

Abstrak : Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) yang dipicu oleh urbanisasi dan berkurangnya Ruang Terbuka Hijau (RTH) telah meningkatkan suhu udara di berbagai wilayah perkotaan, termasuk Kota Bogor. Di tengah kondisi tersebut, Kebun Raya Bogor berperan sebagai kawasan hijau yang mampu menciptakan iklim mikro lebih sejuk dibandingkan kawasan di sekitarnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran vegetasi Kebun Raya Bogor dalam mereduksi suhu lingkungan melalui mekanisme perpindahan kalor. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode studi literatur, observasi lapangan, dan wawancara mendalam terhadap petugas Kebun Raya Bogor, wisatawan, serta masyarakat sekitar. Analisis dilakukan menggunakan konsep perpindahan kalor, meliputi radiasi, konveksi, dan konduksi, yang diintegrasikan dengan proses evapotranspirasi tumbuhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa vegetasi di Kebun Raya Bogor mampu menurunkan suhu lingkungan melalui efek peneduhan *shading effect*, penyerapan dan pemantulan sebagian radiasi matahari, serta pendinginan evaporatif akibat proses evapotranspirasi. Kanopi pohon yang rapat juga berperan dalam mempertahankan kelembapan udara dan memperlambat aliran udara panas sehingga terbentuk iklim mikro yang lebih nyaman. Temuan lapangan menunjukkan adanya perbedaan suhu sekitar 2–4°C antara kawasan Kebun Raya Bogor dan wilayah perkotaan di sekitarnya. Dengan demikian, vegetasi Kebun Raya Bogor berfungsi sebagai sistem pendingin alami yang efektif dalam mengurangi dampak UHI serta menjaga keseimbangan termal lingkungan perkotaan. Hasil penelitian ini menegaskan pentingnya pelestarian dan pengembangan ruang terbuka hijau sebagai strategi mitigasi perubahan iklim di kawasan perkotaan.

Kata Kunci : *Urban Heat Island (UHI); Kebun Raya Bogor; vegetasi; perpindahan kalor; iklim mikro; ruang terbuka hijau (RTH).*

How to cite: Alifah Naurah N, Firda Fauziah, Najwa Fauziah Safitri, Nur Fatimatuz Zahra Puteri, & Zulfadewina. (2025). Oasis Termal di Tengah Kota: Analisis Peran Vegetasi Kebun Raya Bogor dalam Mereduksi Urban Heat Melalui Pendekatan Perpindahan Kalor. *PRIMER : Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, *3*(6), 545–555. https://doi.org/10.55681/primer.v3i6.469

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

PENDAHULUAN

Kota Bogor secara historis telah lama dikenal dengan julukan "Kota Hujan" karena tingginya intensitas curah hujan dan karakteristik iklimnya yang cenderung sejuk. Namun, dalam beberapa dekade terakhir, pesatnya laju urbanisasi, pertumbuhan ekonomi, dan pertambahan populasi telah mengubah lanskap fisik kota ini secara drastis. Alih fungsi lahan hijau menjadi kawasan terbangun seperti gedung komersial, kompleks perumahan, serta jaringan jalan beraspal dan beton kini mendominasi pusat kota (Fadhilah, 2024). Secara termodinamika, material-material artifisial ini memiliki kapasitas penyimpanan panas yang sangat tinggi dan albedo yang rendah, sehingga menyerap energi matahari di siang hari dan mengemisikannya kembali ke atmosfer pada malam hari sebagai kalor sensibel. Fenomena penumpukan panas di area urban ini memicu terjadinya Urban Heat Island (UHI), sebuah kondisi di mana suhu udara di area pusat kota terasa jauh lebih tinggi dan gerah dibandingkan dengan wilayah pedesaan di sekitarnya.

Urban Heat Island (UHI) atau Pulau Panas Perkotaan adalah suatu fenomena dimana daerah perkotaan memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah pedesaan. UHI ini ibarat sebagai kubah raksasa yang memerangkapkan panas pada suatu kota. Pemakaian AC serta alat-alat listrik lain untuk mendinginkan suhu dalam ruangan, sesungguhnya menjadi salah satu faktor pembentuk UHI (Salsabella & Prianto, 2025). Kubah raksasa ini terbentuk dari beberapa elemen yang terdapat di dalam kota tersebut. Permukaan kota yang terdiri dari aspal dan beton umumnya lebih panas pada siang hari dibandingkan dengan daerah yang bervegetasi.Permukaan buatan manusia ini sangat efisien untuk menyimpan energi surya, mengubahnya menjadi energi panas, dan melepaskannya pada malam hari, menciptakan suatu wilayah dengan udara yang panas di sekitar kota yang dikenal sebagai *heat islan*d(pulau panas perkotaan) .

Sebagai salah satu kota satelit di Jabodetabek, Kota Bogor memainkan peran penting dalam menampung pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi dari wilayah metropolitan Jakarta.Populasi Kota Bogor saat ini telah melampaui 1,1 juta jiwa dengan kepadatan lebih dari 10.000 jiwa/km^2 ,menandakan tekanan urbanisasi yang tinggi.Tren ini berdampak langsung terhadap penurunan luas RTH, yang berkurang dari 1.982,23 hatahun 2009 menjadi hanya 784,74 hatahun 2021(Wadud et al., 2023). Penurunan tersebut secara signifikan menyebabkan kenaikan suhu permukaan dan memperburuk kondisi termal lanskap perkotaan juga menekankan bahwa ekspansi infrastruktur dan perencanaan spasial yang kurang efektif turut andil dalam percepatan degradasi vegetasi di Kota Bogor

Di tengah kepungan infrastruktur abu-abu dan ancaman cekaman panas urban tersebut, Kebun Raya Bogor (KRB) hadir sebagai elemen struktural yang krusial sekaligus bertindak sebagai "paru-paru pendingin" masif bagi jantung kota. Kawasan konservasi ex-situ seluas 87 hektar ini menjadi rumah bagi ribuan spesimen tanaman berkayu dan pohon-pohon tua raksasa yang membentuk sebuah matriks Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang solid. Keberadaan kerapatan vegetasi yang terlokalisasi di dalam KRB terbukti secara nyata mampu menciptakan anomali iklim mikro yang unik. Ketika area di luar gerbang kebun raya seperti Jalan Pajajaran dan Jalan Otista mengalami fluktuasi panas ekstrem akibat kepadatan kendaraan dan paparan beton, atmosfer di dalam Kebun Raya Bogor tetap mampu mempertahankan suhu udara yang konsisten sejuk, sirkulasi udara yang bersih, serta tingkat kelembapan yang ideal bagi kenyamanan termal manusia.

Secara ilmiah, kemampuan luar biasa kawasan Kebun Raya Bogor dalam mereduksi efek panas perkotaan bukanlah sebuah kebetulan, melainkan hasil dari mekanisme bio-fisika kompleks yang dijalankan oleh ribuan koleksi vegetasinya. Pohon-

pohon raksasa yang telah berumur ratusan tahun, seperti jajaran pohon Kenari (Canarium ovatum) hingga pohon Beringin (Ficus benjamina) berkanopi masif, berfungsi sebagai arsitektur pelindung termal alami. Pertanyaannya kemudian adalah bagaimana struktur fisik tumbuhan tersebut mampu "menjinakkan" energi panas matahari yang begitu besar? Pembahasan ini dapat dibedah secara komprehensif melalui hukum-hukum termodinamika pada konsep perpindahan kalor yang meliputi radiasi (penapisan sinar matahari oleh kanopi), konveksi (hambatan sirkulasi udara panas oleh massa daun), serta konduksi termal pada permukaan tanah. Melalui artikel ini, konsep-konsep perpindahan panas tersebut akan diintegrasikan dengan proses biologi evapotranspirasi tumbuhan guna mengungkap peran aktif vegetasi Kebun Raya Bogor sebagai sistem penukar panas (heat exchanger) alami yang menjaga keseimbangan iklim mikro kota.

Menurut klasifikasi iklim Koppen, Indonesia termasuk wilayah dengan iklim hutan hujan tropis (Af) yang ditandai dengan suhu udara yang relatif seragam, serta curah hujan yang tinggi dan menyebar sepanjang tahun. Salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki nilai curah hujan yang tinggi adalah Bogor yang dikenal dengan sebutan Kota Hujan, karena jumlah curah dan hari hujannya yang tinggi dalam satu tahun dengan jumlah curah hujan mencapai 4 000 hingga 4 500 mm.

Selain itu, Bogor yang terletak di kaki Gunung Salak serta Gunung Pangrango memiliki suhu udara yang relatif sejuk berkisar antara 26 sampai 27˚C(Nurjanah et al., 2025). Bahkan untuk para pendaki memiliki kesempatan tersendiri akibat dari perpindahan kalor sehingga curah hujan yang bisa terbilang jarang ini, mereka memanfaatkan panas matahari untuk mendaki hingga ke Puncak Gunung Pangrango. Dengan cuaca yang cerah atau panas akan memudahkan para pendaki untuk melewati jalur track yang kering dan tidak berpotensi membahayakan diri sendiri. namun sangat berbeda jika jalur track sudah tersiram air hujan, karena jalur yang dilewati dominan bebatuan maka akan sangat licin dan para pendaki kesulitan melewati jalur yang basah. Bogor merupakan salah satu wilayah dengan perubahan penggunaan lahan yang cepat. Penurunan lahan terbuka di Bogor mencapai 9% sejak tahun 1992 sampai 2005. Terjadinya perubahan penggunaan lahan dapat mengubah pola suhu udara.

Perubahan tersebut akan memengaruhi pola cuaca di suatu wilayah seperti perubahan suhu udara dan curah hujan, baik jumlah hari hujan maupun jumlah curah hujan. Banyaknya pohon di kota Bogor selain membantu proses pertukaran Oksigen dengan Karbondioksida, rindangnya pepohonan tersebut mampu menjadi tempat rekreasi bagi para wisatawan yang berkunjung dari luar kota Bogor itu sendiri. pengunjung dari luar Kota Bogor yang datang ke kota Bogor untuk menikmati pemandangan dan udara segar yang masih sedikit terasa hampir seluruhnya merasakan atau mengakui bahwa kualitas udara di kota Bogor mulai menunrun. hal ini dapat menjadi evaluasi warga kota lainnya bahwa pencemaran udara yang terjadi di kota Bogor ataupun kota-kota sekitarnya berpotensi dari asap kendaraan, asap industri pabrik. Tujuan penelitian ini menganalisis karakteristik suhu udara, curah hujan, serta melakukan identifikasi perubahan suhu dan curah hujan di wilayah Bogor.

Peningkatan pembangunan di kawasan perkotaan menyebabkan berkurangnya ruang terbuka hijau dan meningkatnya dominasi permukaan kedap air seperti aspal, beton, dan bangunan bertingkat. Kondisi tersebut memicu terjadinya fenomena *Urban Heat Island* (UHI), yaitu meningkatnya suhu udara di wilayah perkotaan dibandingkan daerah sekitarnya akibat akumulasi panas pada permukaan kota. Fenomena ini berdampak terhadap menurunnya kenyamanan termal, meningkatnya konsumsi energi untuk pendinginan ruangan, serta menurunkan kualitas kesehatan masyarakat.

Salah satu solusi alami yang terbukti mampu mengurangi peningkatan suhu perkotaan adalah keberadaan vegetasi dalam ruang terbuka hijau. Vegetasi memiliki

kemampuan menurunkan suhu melalui proses peneduhan (shading), evapotranspirasi, dan penyerapan radiasi matahari sehingga perpindahan kalor dari permukaan menuju udara dapat diminimalkan. Dalam kajian fisika lingkungan, mekanisme tersebut berkaitan dengan perpindahan kalor secara radiasi, konduksi, dan konveksi yang terjadi antara permukaan tanah, vegetasi, dan atmosfer.

Kebun Raya Bogor merupakan salah satu ruang terbuka hijau terbesar di kawasan perkotaan Indonesia yang memiliki tutupan vegetasi sangat rapat dengan beragam jenis pohon berukuran besar. Keberadaan vegetasi tersebut berpotensi menciptakan kondisi mikroklimat yang lebih sejuk dibandingkan kawasan perkotaan di sekitarnya. Pepohonan mampu menyerap sebagian energi radiasi matahari, mengurangi suhu permukaan tanah, serta meningkatkan kelembapan udara melalui proses evapotranspirasi sehingga suhu lingkungan menjadi lebih rendah.

Penelitian mengenai hutan kota menunjukkan bahwa vegetasi mampu memperbaiki kualitas lingkungan melalui penyerapan polutan udara, penyaringan partikel debu, serta mengurangi fenomena *urban heat island*. Selain itu, ruang hijau juga memberikan manfaat terhadap kesehatan fisik dan mental masyarakat karena menyediakan lingkungan yang lebih nyaman untuk aktivitas luar ruang (Fadhilah, 2024). Dengan demikian, keberadaan vegetasi tidak hanya berfungsi secara ekologis tetapi juga berperan sebagai pengatur iklim mikro di kawasan perkotaan.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis peran vegetasi Kebun Raya Bogor sebagai oasis termal di tengah kota melalui pendekatan perpindahan kalor. Analisis dilakukan untuk menjelaskan bagaimana vegetasi memengaruhi distribusi panas di lingkungan sehingga mampu mereduksi suhu udara perkotaan dan memberikan manfaat bagi keberlanjutan lingkungan kota.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode analisis fenomenologis untuk membedah peran vegetasi dalam mengendalikan iklim mikro. Berhubung penelitian ini tidak menggunakan data numerik dari alat ukur digital maupun tabel statistik, fokus utama difokuskan pada sinkronisasi antara landasan teori fisika termal dengan realitas yang dirasakan manusia di lapangan. Langkah awal dimulai melalui studi literatur dengan mengkaji berbagai jurnal penelitian terdahulu terkait penurunan suhu oleh Ruang Terbuka Hijau (RTH). Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada pembaruan perspektif, di mana teori perpindahan kalor dijembatani langsung dengan narasi sosial-ekologis masyarakat saat ini. Data primer lapangan diperoleh melalui metode observasi langsung untuk melihat kerapatan kanopi Kebun Raya Bogor, yang diperkuat dengan wawancara mendalam (*in-depth interview*). Wawancara dilakukan kepada tiga kelompok narasumber utama, yaitu petugas penjaga Kebun Raya Bogor untuk mengetahui kondisi riil vegetasi, wisatawan pendatang untuk menangkap perbedaan sensasi termal yang mereka rasakan, serta warga lokal untuk merekam memori historis mengenai perubahan suhu Kota Bogor dalam dua dekade terakhir.

Untuk membedah data deskriptif yang diperoleh dari hasil wawancara dan observasi tersebut, digunakan dua "pisau analisis" utama dalam ilmu fisika termal, yaitu konsep radiasi dan konveksi. Konsep pertama didasarkan pada Hukum Stefan-Boltzmann mengenai radiasi termal, yang secara matematis dirumuskan melalui persamaan $q_{rad} = \in, \sigma, A, (T_S^4 - T_{surr}^4)$ (Nanny Kusminingrum, 2008). Melalui rumus ini, peran pohon-pohon raksasa di Kebun Raya Bogor diposisikan sebagai pemotong fluks radiasi gelombang pendek matahari. Struktur kanopi yang rapat bertindak sebagai penghalang fisik, di mana sebagian besar energi matahari diserap oleh daun untuk kebutuhan fotosintesis dan

sebagian lagi dipantulkan kembali ke atmosfer atas. Akibat penapisan (*shading effect*) ini, nilai suhu permukaan tanah (T_S) di bawah naungan pohon tetap terjaga rendah. Berdasarkan hukum pangkat empat dalam rumus tersebut, ketika suhu permukaan tanah dapat ditekan, maka laju emisi radiasi balik q_{rad} dari tanah ke udara bebas di sekitarnya juga akan mengecil secara drastis, menjelaskan fenomena mengapa area di bawah pohon terasa rindang dan tidak menyengat.

Pisau analisis kedua melibatkan kombinasi antara Hukum Pendinginan Newton pada sistem konveksi, $q_{conv} = h, A, (T_S - T_\infty)$, dengan konsep perubahan fase melalui kalor laten. Dalam sistem termodinamika Kebun Raya Bogor, penurunan suhu udara bebas (T_∞) terjadi secara aktif akibat proses evapotranspirasi tumbuhan. Ketika tumbuhan melepaskan uap air melalui stomata daun, terjadi perubahan fase zat dari cair menjadi gas yang membutuhkan energi sangat besar, yang dikenal sebagai kalor laten penguapan. Energi panas yang bergerak bebas di atmosfer Kota Bogor diserap secara masif oleh vegetasi Kebun Raya Bogor untuk menggerakkan proses penguapan tersebut. Dengan "dikonsumsinya" energi panas dari udara oleh daun, secara otomatis densitas kalor sensibel di udara menyusut sehingga suhu udara lingkungan sekitar mengalami penurunan yang signifikan. Di sisi lain, kerapatan struktur pohon juga memengaruhi koefisien konveksi (h) dengan cara memperlambat kecepatan angin, sehingga kantung udara sejuk dan lembap hasil transpirasi tersebut tetap terperangkap dan mengisolasi kawasan Kebun Raya Bogor dari serbuan udara panas urban di luar kawasan.

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan studi literatur (*library research*). Data diperoleh dari berbagai jurnal ilmiah, artikel penelitian, dan referensi yang membahas fenomena *Urban Heat Island* (Chairuman et al., 2023) perpindahan kalor, ekologi tumbuhan, serta fungsi ruang terbuka hijau dalam mengendalikan iklim mikro perkotaan. Analisis dilakukan dengan membandingkan berbagai hasil penelitian mengenai peran vegetasi dalam menurunkan suhu lingkungan melalui mekanisme perpindahan kalor.

Dalam kajian fisika lingkungan, perpindahan kalor terjadi melalui tiga mekanisme, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Di kawasan perkotaan, permukaan beton dan aspal menyerap radiasi matahari dalam jumlah besar sehingga suhu permukaan meningkat dan memicu terbentuknya *Urban Heat Island*. Vegetasi berfungsi mengurangi penyerapan panas melalui tajuk pohon yang memberikan naungan (*shading*), serta melalui proses evapotranspirasi yang memanfaatkan energi panas untuk menguapkan air sehingga suhu udara di sekitarnya menjadi lebih rendah.

Secara ekologis, vegetasi di kawasan tropis memiliki kemampuan yang tinggi dalam menyerap karbon dioksida, menghasilkan oksigen, serta menjaga kestabilan kelembapan udara. Keanekaragaman tumbuhan tropis yang tinggi juga mendukung terbentuknya iklim mikro yang lebih stabil dibandingkan kawasan dengan tutupan vegetasi rendah (Nurjanah et al., 2025). Selain itu, keberadaan ruang hijau seperti hutan kota terbukti mampu mengurangi polusi udara, menurunkan efek *Urban Heat Island*, serta meningkatkan kualitas lingkungan perkotaan melalui proses fotosintesis, penyerapan gas polutan, dan produksi oksigen(Fadhilah, 2024).

Berdasarkan teori tersebut, vegetasi di Kebun Raya Bogor berpotensi menjadi pengendali suhu alami di tengah kawasan perkotaan. Kanopi pohon yang rapat mampu mengurangi intensitas radiasi matahari yang mencapai permukaan tanah, sementara proses evapotranspirasi membantu mempercepat pelepasan kalor sehingga menciptakan lingkungan yang lebih sejuk dan nyaman.

Secara teoritis, perpindahan kalor berlangsung melalui tiga mekanisme, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Di wilayah perkotaan, permukaan aspal, beton, dan bangunan menyerap radiasi matahari dalam jumlah besar sehingga suhu permukaan

meningkat. Sebagian panas dipantulkan kembali ke atmosfer, tetapi sebagian lainnya terperangkap oleh gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan uap air sehingga meningkatkan suhu udara. Kondisi tersebut menjadi penyebab utama terjadinya fenomena *Urban Heat Island* dan pemanasan global (Nanny Kusminingrum, 2008).

Vegetasi berperan penting dalam mengurangi peningkatan suhu melalui proses peneduhan (*shading*), evapotranspirasi, dan fotosintesis. Dalam proses fotosintesis, tumbuhan menyerap karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer dengan bantuan energi cahaya matahari untuk menghasilkan glukosa dan oksigen. Mekanisme ini tidak hanya mengurangi konsentrasi gas rumah kaca, tetapi juga membantu menurunkan suhu lingkungan karena sebagian energi panas digunakan dalam proses metabolisme tumbuhan (Nanny Kusminingrum, 2008).

Selain menyerap CO_2, berbagai jenis tanaman juga memiliki kemampuan menyerap karbon monoksida (CO) dengan tingkat efektivitas yang berbeda. Penelitian (Nanny Kusminingrum, 2008) menunjukkan bahwa jenis pohon, perdu, maupun semak memiliki kapasitas reduksi polutan yang beragam sehingga pemilihan vegetasi menjadi faktor penting dalam pengembangan ruang terbuka hijau sebagai upaya mitigasi pemanasan global. Oleh karena itu, vegetasi yang terdapat di Kebun Raya Bogor memiliki potensi besar sebagai pengendali iklim mikro karena keanekaragaman jenis tumbuhan yang dimilikinya mampu mendukung penyerapan polutan sekaligus mereduksi suhu lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bukti empiris mengenai kemampuan vegetasi masif dalam mereduksi efek panas perkotaan (*urban heat*) dapat dianalisis secara akurat melalui persepsi kenyamanan termal yang dirasakan langsung oleh masyarakat. Berdasarkan hasil wawancara mendalam dengan Ibu Eka, seorang wisatawan asal Rawamangun, Jakarta, terungkap adanya kontras termal yang sangat tajam antara wilayah metropolitan tempat tinggalnya dengan iklim mikro di dalam Kebun Raya Bogor (KRB). Beliau menegaskan bahwa udara di dalam Kebun Raya Bogor terasa sangat sejuk dan asri karena keberadaan pepohonan yang mendukung sirkulasi udara secara optimal, sebuah kondisi yang berbanding terbalik dengan Jakarta yang telah didominasi oleh polusi udara, asap rokok, dan emisi kendaraan bermotor. Menariknya, meskipun narasumber berada di area terbuka di dalam kebun raya pada siang hari, terik matahari dirasa hanya berupa kehangatan yang nyaman dan tidak menyengat, sementara udara sekitar tetap terasa adem. Pengalaman nyata ini dikonfirmasi oleh data teknis kawasan, di mana pohon-pohon tua di KRB memiliki Indeks Luas Daun (*Leaf Area Index*/LAI) yang sangat tinggi dengan struktur kanopi berlapis yang rapat dari strata atas hingga bawah (Sinaga et al., 2026), bertindak sebagai arsitektur pelindung termal alami.

Fenomena fisik yang dirasakan oleh pengunjung tersebut dapat dibedah secara ilmiah menggunakan konsep perpindahan kalor radiasi melalui Hukum Stefan-Boltzmann, $q_{rad} = \in, \sigma, A, (T_S^4 - T_{surr}^4)$. Sinar matahari yang bergerak menuju bumi membawa energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau radiasi. Ketika radiasi ini menyentuh lapisan kanopi KRB yang memiliki LAI tinggi, daun-daun tanaman menyerap spektrum cahaya tampak (*Photosynthetically Active Radiation*/PAR) untuk kebutuhan fotosintesis, sementara radiasi inframerah dekat (*Near-Infrared*/NIR) yang membawa energi panas terbesar dipantulkan kembali ke atmosfer atas atau diserap secara minimal. Penapisan radiasi matahari (*shading effect*) yang masif ini memutus rantai perpindahan panas langsung ke permukaan bumi, sehingga mencegah tanah di dalam kawasan KRB menjadi panas. Berdasarkan hukum pangkat empat pada rumus

radiasi, jika suhu permukaan lantai hutan (T_S) dapat ditekan agar tetap rendah, maka emisi radiasi balik dari tanah ke udara mikro di bawah kanopi KRB juga akan menjadi sangat kecil. Kondisi fisis ini mencegah terjadinya akumulasi panas ekstrem seperti yang terjadi pada aspal dan beton di area perkotaan gersang.

Selain penapisan radiasi secara pasif, penurunan suhu udara bebas di kawasan Kebun Raya Bogor dikontrol secara aktif oleh mekanisme pendinginan konvektif melalui proses evapotranspirasi dari ribuan spesimen tanaman. Berdasarkan persamaan konveksi Newton, $q_{conv} = h, A, (T_S - T_\infty)$, perubahan suhu udara lingkungan sekitar (T_∞) sangat dipengaruhi oleh pelepasan massa uap air melalui stomata daun secara masif di siang hari. Secara termodinamika, penguapan air dari fase cair di dalam jaringan daun menjadi fase gas di atmosfer membutuhkan pasokan energi yang besar, yang disebut sebagai Kalor Laten Penguapan . Pohon-pohon di dalam KRB menyerap kalor sensibel yaitu energi panas yang ada di udara Kota Bogor untuk mengubah air di dalam daun tersebut menjadi uap air. Proses ini secara langsung bekerja dengan cara "menyedot" energi panas dari udara, sehingga densitas kalor di atmosfer menyusut dan memicu penurunan suhu udara sekitar (T_∞). Efek pendinginan ini berimbas pada sistem konveksi udara kota secara makro; aliran konveksi udara panas dari area urban luar, seperti dari koridor padat kendaraan di Jalan Pajajaran atau Jalan Juanda yang bertiup ke arah KRB, akan mengalami pendinginan instan saat melewati batas vegetasi kebun raya karena langsung menabrak massa udara KRB yang kaya akan uap air dingin dan lembap. Proses evaporatif laten inilah yang memicu pengakuan pengunjung mengenai udara KRB yang terasa adem, lembap, dan sangat baik bagi sirkulasi pernapasan anak usia dini maupun bayi karena minimnya polusi panas terperangkap.

Kombinasi antara penapisan radiasi dan pendinginan konvektif ini menciptakan fenomena pulau sejuk (*urban oasis effect*) yang nyata, di mana perbedaan suhu udara di dalam Kebun Raya Bogor dengan area luar pagar (seperti area dekat Mal atau stasiun) mampu mencapai selisih sebesar 2°C hingga 4°C. Secara fisika, tingginya kerapatan pohon di dalam KRB berfungsi menahan laju angin cepat, sehingga menciptakan sebuah "kantung udara stabil" di bawah naungan kanopi. Udara sejuk dan lembap hasil transpirasi daun terjebak dengan baik di dalam kawasan kebun raya, membentuk zona bertekanan termal rendah yang nyaman bagi manusia. Namun, data historis dari penuturan masyarakat menunjukkan bahwa kemampuan KRB dalam mempertahankan kestabilan termal ini terus mendapatkan tekanan akibat perubahan tata guna lahan kota. Ibu Eka yang baru berkunjung kembali setelah selang waktu 20 tahun mencatat bahwa udara Bogor di masa lalu terasa jauh lebih bersih dan sejuk lagi dibandingkan saat ini, seiring dengan bermunculannya gedung-gedung dan bangunan baru di sekeliling kota yang mengganggu sirkulasi pelepasan panas regional.

Pentingnya vegetasi sebagai penyeimbang energi termal lokal ini diperkuat oleh kesaksian Ibu Siti Nurjana, seorang warga yang baru satu tahun pindah dari Depok ke Bogor. Beliau merasakan perbedaan iklim yang sangat signifikan, di mana Depok dirasa memiliki suhu udara panas yang hampir setara dengan Jakarta akibat minimnya RTH, sedangkan tempat tinggalnya yang baru di wilayah kota Bogor masih dikelilingi oleh pepohonan dan kebun sehingga suhunya tidak terlalu terik. Keberadaan vegetasi domestik ini terbukti membantu menjaga kualitas air tanah di Bogor agar tetap bagus dan terasa dingin di kulit. Karakteristik air yang dingin ini terjadi karena tanah terlindung oleh naungan pohon dari paparan radiasi langsung, sehingga air yang meresap ke dalam pori-pori tanah tidak mengalami pemanasan konduktif dari permukaan. Namun, keuntungan geografis Bogor di dataran tinggi yang menawarkan suhu dingin alami kini dihadapkan pada tantangan ketidakteraturan musim hujan yang polanya semakin bergeser dan sulit diprediksi (Fahruddin et al., 2024). Dengan berkurangnya luas lahan hijau di area luar

akibat urbanisasi, risiko fisik yang dihadapi wilayah ini ikut berubah. Posisi topografi dataran tinggi memang membuat Bogor aman dan jarang mengalami banjir besar di pusat kota, namun hilangnya cengkeraman mekanis akar pohon akibat pembukaan lahan membuat wilayah ini bertransformasi menjadi area yang memiliki kerawanan yang jauh lebih tinggi terhadap bencana tanah longsor di musim penghujan. Keselarasan antara data wawancara lapangan dan hukum perpindahan kalor ini menegaskan bahwa kelestarian struktur pohon di Kebun Raya Bogor merupakan benteng termodinamika mutlak yang menahan kota dari kepunahan kenyamanan termal. Udara sejuk di dalam KRB bukan sekadar efek visual estetis, melainkan hasil kerja konversi energi termal yang nyata dari ekosistem hutan kota.

Hasil kajian menunjukkan bahwa vegetasi Kebun Raya Bogor memiliki peran yang sangat penting dalam mereduksi suhu lingkungan perkotaan melalui mekanisme perpindahan kalor. Tajuk pohon yang lebat mampu menghalangi radiasi matahari secara langsung sehingga energi panas yang diterima permukaan tanah menjadi lebih kecil. Akibatnya, suhu permukaan maupun suhu udara di sekitar kawasan vegetasi menjadi lebih rendah dibandingkan wilayah yang didominasi bangunan dan perkerasan jalan.
Selain berfungsi sebagai peneduh, vegetasi melakukan proses evapotranspirasi yang memanfaatkan energi panas lingkungan untuk mengubah air menjadi uap. Proses ini menyebabkan sebagian kalor dilepaskan ke atmosfer dalam bentuk kalor laten sehingga suhu udara menurun (Tulandi, 2022). Mekanisme tersebut menunjukkan bahwa vegetasi berperan dalam mengurangi perpindahan kalor secara radiasi sekaligus menstabilkan perpindahan kalor melalui konveksi di lingkungan sekitar.

Dari sudut pandang ekologi tumbuhan, vegetasi tropis memiliki keanekaragaman spesies yang tinggi serta kemampuan fotosintesis yang lebih besar sehingga mampu menyerap karbon dioksida dalam jumlah lebih banyak dibandingkan vegetasi di wilayah subtropis. Karakteristik tersebut menjadikan vegetasi tropis lebih efektif dalam menjaga keseimbangan iklim lokal dan mendukung mitigasi perubahan iklim(Nurjanah et al., 2025). Kondisi ini sesuai dengan karakteristik vegetasi yang terdapat di Kebun Raya Bogor sebagai salah satu kawasan konservasi tumbuhan tropis terbesar di Indonesia.

Penelitian mengenai hutan kota juga menunjukkan bahwa vegetasi mampu menyaring partikel debu, menyerap gas pencemar seperti karbon dioksida (CO_2), nitrogen dioksida (NO_2), dan sulfur dioksida (SO_2), serta menghasilkan oksigen melalui proses fotosintesis. Selain meningkatkan kualitas udara, vegetasi juga berkontribusi dalam menurunkan efek *Urban Heat Island* sehingga lingkungan menjadi lebih nyaman bagi masyarakat (Fadhilah, 2024). Dengan demikian, keberadaan Kebun Raya Bogor tidak hanya berfungsi sebagai kawasan konservasi keanekaragaman hayati, tetapi juga sebagai oasis termal yang mampu menciptakan iklim mikro lebih sejuk melalui pengendalian perpindahan kalor. Peran tersebut menjadikan ruang terbuka hijau sebagai salah satu solusi berbasis alam (*nature-based solution*) dalam menghadapi peningkatan suhu akibat urbanisasi dan perubahan iklim.

Tajuk pohon yang rapat mampu mengurangi intensitas radiasi matahari yang mencapai permukaan tanah sehingga panas yang diserap oleh permukaan menjadi lebih kecil. Selain itu, proses evapotranspirasi memanfaatkan energi panas dari lingkungan untuk menguapkan air sehingga suhu udara di sekitar vegetasi menjadi lebih rendah. Kondisi ini menyebabkan kawasan yang memiliki tutupan vegetasi tinggi, seperti Kebun Raya Bogor, memiliki iklim mikro yang lebih sejuk dibandingkan kawasan perkotaan di sekitarnya.

Penelitian (Nanny Kusminingrum, 2008) menunjukkan bahwa tanaman memiliki kemampuan berbeda dalam menyerap polutan udara, terutama karbon monoksida (CO). Pada kelompok pohon, tanaman ganitri (*Elaeocarpus sphaericus*) mampu mereduksi CO

hingga 81,53%, sedangkan pada kelompok perdu, tanaman iriansis (*Impatiens* sp.) mencapai 88,61%. Untuk kelompok semak, philodendron memiliki kemampuan reduksi tertinggi, yaitu sebesar 92,22%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa karakteristik morfologi dan fisiologi setiap jenis tanaman memengaruhi efektivitasnya dalam memperbaiki kualitas udara dan mengurangi dampak pemanasan lingkungan.

Selain tanaman tunggal, kombinasi beberapa jenis vegetasi juga terbukti efektif dalam menyerap polutan. Kombinasi tanaman Galinggem dan Kriminil Merah dengan perbandingan 2:1 mampu mereduksi karbon monoksida hingga 79,22%. Temuan tersebut menunjukkan bahwa penataan vegetasi yang tepat dapat meningkatkan fungsi ekologis ruang terbuka hijau dalam mengurangi pencemaran udara dan menjaga kestabilan suhu lingkungan.

Apabila dikaitkan dengan Kebun Raya Bogor, keanekaragaman vegetasi yang sangat tinggi memungkinkan terjadinya proses penyerapan radiasi matahari, fotosintesis, evapotranspirasi, serta penyerapan karbon secara optimal. Vegetasi tersebut berfungsi sebagai pengendali perpindahan kalor melalui pengurangan radiasi, peningkatan kelembapan udara, dan penurunan suhu permukaan. Dengan demikian, Kebun Raya Bogor dapat berfungsi sebagai *oasis termal* di tengah kawasan perkotaan yang mampu mereduksi fenomena *Urban Heat Island* sekaligus meningkatkan kualitas udara dan kenyamanan lingkungan (Subandar & Sulistyantara, 2026).

KESIMPULAN DAN SARAN

Analisis mengenai peran Kebun Raya Bogor (KRB) sebagai oasis termal di tengah dinamika urbanisasi Kota Bogor mengungkap bagaimana kawasan konservasi seluas 87 hektar ini secara efektif mampu mereduksi fenomena *Urban Heat Island* (UHI) melalui mekanisme bio-fisika perpindahan kalor. Pesatnya alih fungsi lahan hijau menjadi infrastruktur beton dan aspal di pusat Kota Bogor—yang secara historis berudara sejuk dan dikenal sebagai Kota Hujan—telah memicu penumpukan kalor sensibel akibat rendahnya nilai albedo (daya pantul) dan tingginya kapasitas penyimpanan panas pada material artifisial tersebut. Di tengah kepungan hawa panas perkotaan, vegetasi masif di dalam KRB, seperti pohon Kenari dan Beringin tua yang memiliki Indeks Luas Daun (LAI) tinggi, bertindak sebagai arsitektur pelindung termal alami sekaligus sistem penukar panas (*heat exchanger*) yang menjaga keseimbangan iklim mikro kota melalui prinsip radiasi, konveksi, dan konduksi termal.

Melalui pendekatan Hukum Stefan-Boltzmann mengenai radiasi termal, struktur kanopi berlapis yang sangat rapat di KRB berfungsi sebagai penghalang fisik (*shading effect*) yang menyerap spektrum cahaya untuk fotosintesis dan memantulkan kembali radiasi inframerah dekat ke atmosfer atas. Penapisan radiasi matahari yang masif ini berhasil menekan suhu permukaan tanah (Ts) di bawah naungan pohon tetap rendah; berdasarkan hukum pangkat empat dalam rumus radiasi, penurunan suhu permukaan ini secara otomatis meminimalkan emisi radiasi balik dari tanah ke udara secara drastis, sehingga area di bawah pohon tidak terasa menyengat. Secara bersamaan, penurunan suhu udara bebas dikontrol secara aktif melalui prinsip konveksi Hukum Pendinginan Newton yang terintegrasi dengan proses evapotranspirasi tumbuhan. Pohon-pohon di KRB menyerap kalor sensibel (energi panas bebas di atmosfer) dari udara luar secara masif untuk menggerakkan perubahan fase air dari cair menjadi gas (kalor laten penguapan) melalui stomata daun. Proses konversi energi ini langsung "menyedot" panas dari udara sehingga densitas kalor menyusut dan suhu udara lingkungan sekitar mengalami penurunan yang signifikan. Kerapatan struktur pohon juga turut memperlambat kecepatan angin, sehingga "kantung udara sejuk" yang lembap hasil

transpirasi tersebut tetap terperangkap dan mengisolasi kawasan KRB dari serbuan udara panas urban.

Secara empiris, kombinasi penapisan radiasi dan pendinginan konvektif ini menciptakan efek pulau sejuk yang nyata, dengan perbedaan suhu udara di dalam Kebun Raya Bogor mencapai selisih 2'C hingga 4'C lebih rendah dan lebih bersih dibandingkan dengan area di luar pagar seperti koridor padat kendaraan di Jalan Pajajaran. Kendati demikian, analisis historis dan penuturan masyarakat menunjukkan bahwa kemampuan KRB dalam menjaga kestabilan termal regional terus menghadapi tekanan berat akibat penurunan luas lahan terbuka di Bogor yang mencapai 9% sejak tahun 1992 hingga 2005. Perubahan tata guna lahan dan masifnya gedung-gedung baru di sekeliling kota tidak hanya menggeser keteraturan pola cuaca serta curah hujan, tetapi juga menurunkan kualitas air tanah dan meningkatkan risiko bencana fisik; hilangnya cengkeraman mekanis akar pohon akibat pembukaan lahan di area luar membuat wilayah dataran tinggi Bogor kini memiliki tingkat kerawanan yang jauh lebih tinggi terhadap tanah longsor di musim penghujan. Pada akhirnya, keselarasan antara data lapangan dan hukum perpindahan kalor ini menegaskan bahwa kelestarian vegetasi Kebun Raya Bogor merupakan benteng termodinamika mutlak yang menahan kota dari kepunahan kenyamanan termal dan degradasi lingkungan secara makro.

Vegetasi Kebun Raya Bogor berperan penting sebagai pengendali suhu lingkungan melalui mekanisme perpindahan kalor berupa pengurangan radiasi matahari, peneduhan, dan evapotranspirasi. Keberadaan vegetasi yang rapat mampu mereduksi fenomena *Urban Heat Island*, meningkatkan kualitas udara, serta menciptakan iklim mikro yang lebih nyaman. Oleh karena itu, pelestarian ruang terbuka hijau seperti Kebun Raya Bogor merupakan strategi yang efektif dalam mendukung pembangunan kota yang berkelanjutan dan adaptif terhadap perubahan iklim.

Vegetasi Kebun Raya Bogor memiliki peran penting dalam mereduksi fenomena *Urban Heat Island* melalui mekanisme perpindahan kalor, yaitu dengan mengurangi radiasi matahari, meningkatkan proses evapotranspirasi, serta menyerap karbon dioksida dan karbon monoksida melalui fotosintesis. Keanekaragaman vegetasi menjadikan Kebun Raya Bogor sebagai oasis termal yang mampu menciptakan iklim mikro lebih sejuk, memperbaiki kualitas udara, serta mendukung keberlanjutan lingkungan perkotaan.

DAFTAR PUSTAKA

Chairuman, M., Wihadanto, A., & Rusdiyanto, E. (2023). Perubahan penggunaan lahan Perkotaan dan fenomena urban heat island di Kota Tangerang Selatan. *ULIN: Jurnal Hutan Tropis*, *7*(2), 142. https://doi.org/10.32522/ujht.v7i2.10375

Fadhilah, N. (2024). Peran Hutan Kota dalam Mengurangi Polusi Udara dan Meningkatkan Kualitas Hidup Masyarakat Perkotaan. *Journal of Horizon*, *1*(1), 6–9. https://doi.org/10.62872/q3j8cq92

Fahruddin, A., Mulyadi, & Firdaus, R. (2024). Buku Ajar Perpindahan Panas Heat Sink dan Permukaan Bersirip. In *Umsida Press*. https://press.umsida.ac.id/index.php/umsidapress/article/view/1447%0Ahttps://press.umsida.ac.id/index.php/umsidapress/article/download/978-623-464-087-8/1226

Nanny Kusminingrum. (2008). Potensi Tanaman Dalam Menyerap Co2 Dan Co Untuk Mengurangi Dampak Pemanasan Global. *Jurnal Permukiman*, *3*(2), 96–105.

Nurjanah, Ayu Rahayu, & Didit Ginanjar. (2025). Studi Perbandingan antara Ekologi Tumbuhan di Daerah Tropis dan Subtropis dalam Menanggulangi Perubahan

Iklim. *Jurnal Pengembangan Sains dan Teknologi*, *1*(1), 9–16. https://doi.org/10.63866/jpst.v1i1.41

Salsabella, S., & Prianto, E. (2025). Analisis Perbandingan Efektivitas Vegetasi Dan Naungan Buatan Dalam Meningkatkan Kenyamanan Termal Ruang Terbuka Kampus. *Jurnal Arsitektur ARCADE*, *9*(2), 137–143. https://doi.org/10.31848/arcade.v9i2.3955

Sinaga, F., Sinaga, B. F., Anggara, D., Sihaloho, O. P., Taulani, I., & Gunawan, H. (2026). *HUBUNGAN INDEKS LUAS DAUN TERHADAP EFEKTIVITAS RELATIONSHIP BETWEEN LEAF AREA INDEX AND PHOTOSYNTHESIS*. *28*(1), 97–102.

Subandar, S. A., & Sulistyantara, B. (2026). *Jurnal Teknologi Lingkungan Landscape Planning for Public Green Open Space Based on the Urban Heat Island Phenomenon in Tanah Sareal District , Bogor City Perencanaan Lanskap Ruang Terbuka Hijau Publik Berbasis Fenomena Urban Heat Island di Kecamatan Tana*. *27*(1), 33–44.

Tulandi, D. A. (2022). Perbandingan Suhu pada Ruang Terbuka Hijau (RTH) dan non RTH di Area Megamas Manado. *Charm Sains: Jurnal Pendidikan Fisika*, *3*(1), 50–54. https://doi.org/10.53682/charmsains.v3i1.152

Wadud, M. V. A., Hermawan, E., & Kamilah, N. (2023). Analisis Pola Distribusi Spasial Perubahan Penggunaan Lahan Dan Urban Heat Island Menggunakan Google Earth Engine (Studi Kasus Di Kota Bogor Tahun 2000, 2009, & 2021). *INFOTECH journal*, *9*(1), 259–269. https://doi.org/10.31949/infotech.v9i1.5507