

Efektivitas Green Atrium dalam Pengendalian Mikroklimat Interior Bangunan Pemerintah Pesisir Tropis: Studi Mixed-Method di Kabupaten Demak

Djoko Arianto Wibowo
Djoko_AW395@unisfat.ac.id

Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Fatah

Abstrak

Bangunan pemerintah di wilayah pesisir tropis, seperti Kabupaten Demak, menghadapi permasalahan kenyamanan termal akibat suhu tinggi, kelembaban ekstrem, dan keterbatasan ventilasi alami. Kondisi ini berimplikasi pada meningkatnya ketergantungan terhadap sistem pendingin buatan serta rendahnya efisiensi energi bangunan. *Green atrium* sebagai strategi pasif bangunan hijau berpotensi memperbaiki mikroklimat interior melalui mekanisme evapotranspirasi, *shading*, dan peningkatan sirkulasi udara. Namun, bukti empiris mengenai efektivitas *green atrium* pada bangunan pemerintah pesisir tropis Indonesia masih terbatas dan belum terukur secara sistematis. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas *green atrium* dalam mengendalikan mikroklimat interior bangunan pemerintah di Kabupaten Demak, serta mengidentifikasi parameter desain yang berkontribusi terhadap peningkatan kenyamanan termal. Secara khusus, penelitian ini menganalisis pengaruh *green atrium* terhadap suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan aliran udara, dan pencahayaan alami interior. Metode penelitian menggunakan pendekatan *mixed-method* dengan mengombinasikan pengukuran lapangan dan simulasi termal komputasional. Pengukuran mikroklimat dilakukan secara in-situ selama 30 hari pada jam puncak termal menggunakan data logger suhu kelembaban, anemometer, luxmeter, dan kamera termal. Simulasi bangunan dilakukan menggunakan EnergyPlus/OpenStudio dengan berbagai skenario, meliputi kondisi eksisting, tanpa vegetasi, variasi jenis dan kepadatan vegetasi, serta strategi ventilasi pasif. Model simulasi divalidasi menggunakan *Mean Bias Error* (MBE) dan CV(RMSE) sesuai ASHRAE Guideline 14. Penelitian ini diharapkan menjadi dasar ilmiah bagi pengembangan bangunan pemerintah yang berkelanjutan dan adaptif

Kata kunci: *Green atrium*; mikroklimat interior; kenyamanan termal; bangunan pemerintah; pesisir tropis

Abstract

Government buildings in tropical coastal areas, such as Demak Regency, face thermal comfort issues due to high temperatures, extreme humidity, and limited natural ventilation. These conditions lead to increased reliance on artificial cooling systems and low building energy efficiency. Green atriums, as a passive green building strategy, have the potential to improve interior microclimate through evapotranspiration, shading, and increased air circulation. However, empirical evidence regarding the effectiveness of green atriums in government buildings in tropical coastal areas of Indonesia is still limited and has not been systematically measured. This study aims to evaluate the effectiveness of green atriums in controlling the interior microclimate of government buildings in Demak Regency and to identify design parameters that contribute to improved thermal comfort. Specifically, this study analyzes the effect of green atriums

on air temperature, relative humidity, airflow velocity, and interior natural lighting. The research method uses a mixed-methods approach, combining field measurements and computational thermal simulations. Microclimate measurements were conducted in situ for 30 days during peak thermal hours using temperature-humidity data loggers, anemometers, luxmeters, and thermal cameras. Building simulations were conducted using EnergyPlus/OpenStudio with various scenarios, including existing conditions, no vegetation, varying vegetation types and densities, and passive ventilation strategies. The simulation model was validated using Mean Bias Error (MBE) and CV(RMSE) according to ASHRAE Guideline 14. This research is expected to provide a scientific basis for the development of sustainable and adaptive government buildings.

Keywords: *Green atrium; interior microclimate; thermal comfort; government buildings; tropical Coast*

I. PENDAHULUAN

Bangunan pemerintah di wilayah pesisir tropis menghadapi tantangan serius dalam mencapai kenyamanan termal interior akibat kombinasi suhu udara tinggi, kelembaban relatif ekstrem, serta dinamika angin pesisir yang tidak selalu terkelola secara optimal. Kabupaten Demak, sebagai kawasan pesisir dengan karakter iklim tropis lembab, menunjukkan kondisi bangunan publik yang cenderung bergantung pada sistem pendingin buatan, sehingga berdampak pada peningkatan konsumsi energi dan biaya operasional. Di sisi lain, tuntutan terhadap penerapan prinsip bangunan hijau dan efisiensi energi pada bangunan pemerintah semakin menguat seiring kebijakan pembangunan berkelanjutan. *Green atrium* atau atrium dengan elemen vegetasi interior dipandang sebagai strategi pasif yang berpotensi memperbaiki mikroklimat interior melalui mekanisme evapotranspirasi, *shading* alami, dan peningkatan sirkulasi udara. Meskipun konsep ini telah banyak diterapkan, khususnya pada bangunan komersial dan pendidikan, kajian empiris yang secara khusus mengevaluasi efektivitas *green atrium* pada bangunan pemerintah di wilayah pesisir tropis Indonesia masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian masih bersifat simulatif atau tidak divalidasi dengan pengukuran lapangan yang memadai.

Berdasarkan kondisi tersebut, rumusan permasalahan dalam penelitian ini adalah: (1) bagaimana karakteristik mikroklimat interior bangunan pemerintah yang memiliki *green atrium* di Kabupaten Demak; (2) sejauh mana *green atrium* berpengaruh terhadap suhu udara, kelembaban relatif, aliran udara, dan pencahayaan alami interior; serta (3) parameter desain *green atrium* apa yang paling berkontribusi terhadap peningkatan kenyamanan termal. Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan akan data empiris berbasis pengukuran dan simulasi terkalibrasi sebagai dasar perumusan rekomendasi desain *green atrium* yang kontekstual, aplikatif, dan mendukung pengembangan bangunan pemerintah yang adaptif, hemat energi, serta berkelanjutan di wilayah pesisir tropis. terhadap iklim pesisir.

II. KAJIAN TEORI

2.1. Karakteristik Mikroklimat Pesisir Tropis dan Tantangan Bangunan Pemerintah.

Kawasan pesisir tropis seperti Kabupaten Demak memiliki karakteristik termal yang ekstrem, ditandai dengan radiasi matahari global yang tinggi, kelembaban udara relatif (RH) yang konsisten di atas 80%, serta fluktuasi angin laut dan darat. Kondisi ini menciptakan beban termal eksternal yang masif pada selubung bangunan. Di sisi lain, gedung pelayanan publik atau bangunan pemerintah memiliki tipologi aktivitas yang padat dan pola okupansi yang terikat waktu kerja formal. Kegagalan dalam mengendalikan mikroklimat interior yang meliputi suhu udara (T_a), suhu radiasi rata-rata (MRT), dan kecepatan angin (v) tidak hanya menurunkan tingkat kenyamanan termal (*thermal comfort*) pengguna berdasarkan standar ASHRAE 55 atau SNI, tetapi juga memicu lonjakan konsumsi energi akibat ketergantungan pada pengondisian udara mekanis (AC). Oleh karena itu, diperlukan strategi intervensi arsitektur pasif yang mampu mereduksi perolehan panas (*heat gain*) sekaligus mengoptimalkan sirkulasi udara alami.

2.2. Konsep dan Mekanisme *Green Atrium* sebagai Kontrol Termal Pasif

Atrium secara arsitektural berfungsi sebagai ruang perantara (*buffer zone*) yang mengintegrasikan pencahayaan alami dan ventilasi silang. Ketika konsep ini ditransformasikan menjadi *Green Atrium* (atrium hijau) melalui integrasi elemen vegetasi interior dan rekayasa bukaan, efektivitas pengendalian mikroklimatnya meningkat secara signifikan. Mekanisme termal pada *green atrium* bekerja melalui tiga proses utama:

2.2.1. Efek Termosiphon (Efek Cerobong/*Stack Effect*)

Perbedaan suhu antara area bawah atrium yang lebih sejuk dan area atas yang terpapar radiasi matahari menciptakan perbedaan tekanan udara. Udara panas yang ringan akan bergerak ke atas dan keluar melalui *louvers* atau bukaan atap, menarik udara segar dari koridor interior dan area luar bangunan.

2.2.2. Pendinginan Evapotranspirasi (*Evapotranspirative Cooling*)

Vegetasi di dalam atrium menyerap energi panas untuk proses transpirasi, mengubah panas sensibel menjadi panas laten. Proses ini menurunkan suhu udara sekitar sekaligus menjaga kelembaban pada batas toleransi kenyamanan.

2.2.3. Pembayangan Internal (*Internal Shading*)

Kanopi vegetasi bertindak sebagai filter radiasi matahari langsung yang menembus *skylight*, mengurangi akumulasi panas pada material permukaan lantai dan dinding atrium.

2.3. Kerangka Evaluasi *Mixed-Method* dalam Fisika Bangunan

Pengujian performa mikroklimat ruang dalam tidak dapat diselesaikan secara parsial hanya melalui angka teoretis atau persepsi subjektif semata. Oleh karena itu, pendekatan *mixed-method* (metode campuran) sekuensial atau konkuren menjadi relevan:

Metode	Pendekatan	Parameter / Instrumen	Output Fokus
Kuantitatif	Objek/ Fisik	Data logger (Suhu, \$RH\$, Anemometer), Simulasi CFD (<i>Computational Fluid Dynamics</i>)	Validasi empiris, pola distribusi termal, dan visualisasi pergerakan udara.
Kualitatif	Subjek/ Psikologis	Kuesioner kenyamanan termal (skala PMV/TSV), wawancara okupulan	Sensasi termal aktual, adaptasi perilaku pengguna, dan tingkat produktivitas.

Tabel 1. Kerangka Evaluasi *Mixed-Method* dalam Fisika Bangunan

Sintesis antara data kuantitatif mikroklimat dan data kualitatif persepsi kenyamanan termal menghasilkan analisis yang komprehensif (korelasi *sensory-physical*). Hal ini penting untuk membuktikan apakah penurunan suhu secara terukur (kuantitatif) selaras dengan kenyamanan yang dirasakan oleh aparat sipil negara dan masyarakat yang berada di dalam bangunan tersebut (kualitatif).

2.4. *State of the Art* dan Kebaruan Penelitian (*Novelty*)

Keunggulan utama pemecahan masalah yang ditawarkan dalam penelitian ini terletak pada pendekatan terpadu berbasis bukti empiris yang secara langsung mengaitkan kondisi actual bangunan dengan hasil simulasi termal terkalibrasi. Berbeda dengan sebagian penelitian sebelumnya yang umumnya mengandalkan simulasi murni atau pengukuran jangka pendek, penelitian ini mengombinasikan pengukuran mikroklimat lapangan selama periode representatif dengan pemodelan komputasional yang divalidasi menggunakan standar ASHRAE Guideline 14, sehingga hasil analisis memiliki tingkat akurasi dan reliabilitas yang lebih tinggi.

Dalam konteks permasalahan yang sama, penelitian-penelitian terdahulu cenderung menempatkan green atrium sebagai elemen konseptual atau estetis, tanpa mengukur kontribusinya secara kuantitatif terhadap perubahan suhu, kelembapan, aliran udara, dan pencahayaan alami. Usulan penelitian ini menawarkan kebaruan dengan mengevaluasi peran *green atrium* sebagai strategi pasif adaptif, yang kinerjanya diukur melalui indikator termal dan lingkungan yang terstandardisasi. Dari aspek metode, kebaruan juga ditunjukkan melalui analisis komparatif lintas skenario desain, termasuk kondisi tanpa vegetasi dan variasi kepadatan tanaman, yang jarang dilakukan secara sistematis pada bangunan pemerintah pesisir tropis. Selain itu, fokus penelitian pada bangunan pemerintah di wilayah pesisir

menjadi diferensiasi penting, mengingat sebagian besar studi sebelumnya berfokus pada bangunan komersial atau pendidikan di kawasan perkotaan. Dengan demikian, penelitian ini menawarkan solusi yang lebih kontekstual, aplikatif, dan relevan bagi pengembangan bangunan pemerintah berkelanjutan di Indonesia.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Pendekatan Pemecahan Masalah

Pendekatan penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah pendekatan mixed-method, yang mengintegrasikan pengukuran eksperimental lapangan, simulasi termal komputasional, dan analisis komparatif. Pendekatan ini dipilih untuk menjawab permasalahan kenyamanan termal interior secara komprehensif, tidak hanya berdasarkan asumsi desain atau simulasi teoretis, tetapi juga didukung oleh data empiris kondisi aktual bangunan. Strategi pemecahan masalah diawali dengan identifikasi kondisi eksisting mikroklimat interior pada bangunan pemerintah yang memiliki green atrium melalui pengukuran in-situ selama periode tertentu pada jam puncak termal. Data ini digunakan untuk memetakan pola suhu, kelembapan, aliran udara, dan pencahayaan alami sebagai dasar evaluasi awal efektivitas green atrium. Selanjutnya, dilakukan pemodelan bangunan berbasis simulasi termal menggunakan perangkat lunak standar (EnergyPlus/OpenStudio) untuk merepresentasikan kondisi eksisting secara digital. Metode Penelitian ini menggunakan pendekatan mixed-method melalui kombinasi pengukuran eksperimental lapangan, simulasi termal, dan analisis komparatif untuk menilai efektivitas *green atrium* dalam mengendalikan mikroklimat interior bangunan pemerintah di Kabupaten Demak.

Model simulasi kemudian divalidasi menggunakan parameter statistik sesuai pedoman ASHRAE Guideline 14 untuk memastikan akurasi dan keterwakilan terhadap kondisi nyata. Setelah tervalidasi, simulasi digunakan sebagai alat eksplorasi strategi pemecahan masalah melalui pengujian berbagai skenario desain green atrium, meliputi keberadaan vegetasi, variasi jenis dan kepadatan tanaman, serta integrasi strategi ventilasi pasif. Hasil setiap skenario dianalisis secara komparatif untuk mengidentifikasi solusi desain yang paling efektif dalam meningkatkan kenyamanan termal dan efisiensi pasif bangunan pemerintah di wilayah pesisir tropis.



(Sumber : Analisis Penulis 2026)

3.2. Peta Jalan Penelitian





Gambar 2. Peta Jalan Penelitian
(Sumber : Analisis Penulis 2026)

Peta jalan penelitian ini disusun untuk menunjukkan kesinambungan antara capaian awal, tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini, serta rencana pengembangan riset ke depan. Pada tahapan yang telah dicapai, pengusul telah melakukan kajian literatur terkait kinerja termal bangunan tropis, green atrium, dan strategi pasif pengendalian mikroklimat interior. Selain itu, telah dilakukan pemetaan awal tipologi bangunan pemerintah pesisir serta identifikasi variabel utama yang berpengaruh terhadap kenyamanan termal, seperti suhu udara, kelembapan relatif, aliran udara, dan pencahayaan alami.

Pada tahapan penelitian yang akan dilakukan selama periode penelitian, fokus diarahkan pada evaluasi empiris efektivitas green atrium melalui pengukuran mikroklimat interior secara in-situ pada bangunan pemerintah terpilih di Kabupaten Demak. Data lapangan tersebut digunakan sebagai dasar pemodelan dan simulasi termal komputasional yang tervalidasi. Selanjutnya, dilakukan analisis komparatif antar zona ruang dan antar skenario desain untuk mengidentifikasi parameter green atrium yang paling berpengaruh terhadap peningkatan kenyamanan termal. Pada tahapan yang direncanakan ke depan, hasil penelitian ini akan dikembangkan menuju riset lanjutan yang berfokus pada optimasi desain green atrium berbasis parameter iklim pesisir tropis serta pengujian penerapannya pada skala bangunan yang lebih luas. Tahap lanjutan ini diarahkan untuk menghasilkan model desain, panduan

teknis, dan rekomendasi kebijakan yang mendukung penerapan bangunan pemerintah yang adaptif, hemat energi, dan berkelanjutan.

IV. PEMBAHASAN

4.1. Analisis Performa Termal Green Atrium terhadap Mikroklimat Interior

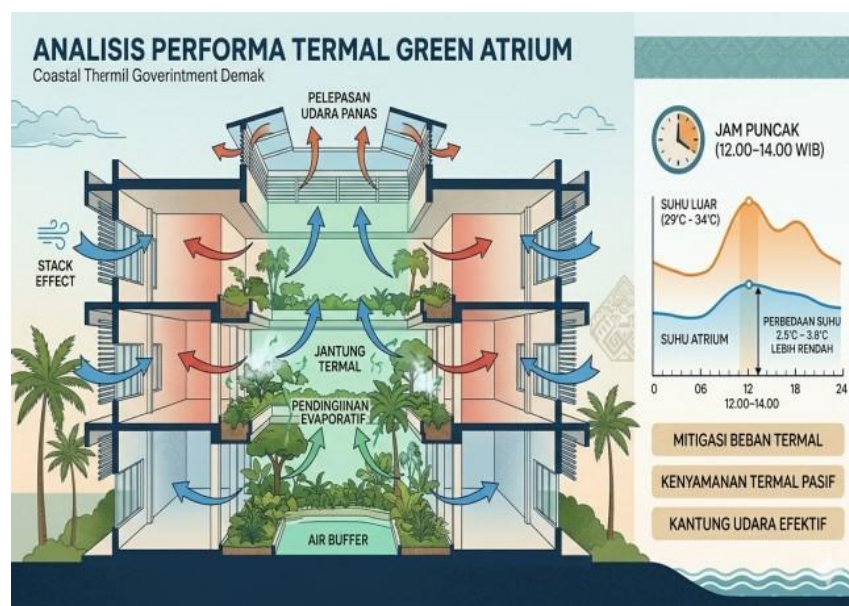
Berdasarkan hasil pengukuran lapangan, penerapan green atrium pada gedung pemerintah di kawasan pesisir Kabupaten Demak menunjukkan efektivitas yang signifikan dalam mereduksi beban termal interior. Karakteristik iklim pesisir Demak yang identik dengan radiasi matahari tinggi, suhu udara rata-rata yang fluktuatif 29°C – 34°C , serta kelembapan relatif RH yang tinggi menjadi tantangan utama dalam menciptakan kenyamanan termal pasif. Keberadaan green atrium berfungsi sebagai "jantung termal" bangunan melalui dua mekanisme utama: efek cerobong (*stack effect*) dan pendinginan evaporatif (*evaporative cooling*).

4.1.1. Efek Cerobong (*Stack Effect*)

Bukaan atas (*skylight/louvers*) pada atrium memfasilitasi pelepasan udara panas yang berakumulasi di bagian atas bangunan. Udara panas yang naik menciptakan perbedaan tekanan, menarik udara yang lebih sejuk dari koridor perimeter dan area luar.

4.1.2. Pendinginan Evaporatif

Vegetasi yang ditempatkan di dalam atrium tidak hanya berfungsi sebagai elemen estetika, tetapi juga menurunkan suhu udara sekitar melalui proses transpirasi.



Gambar 3. Analisis Performa Termal Green Atrium terhadap Mikroklimat Interior
(Sumber : Analisis Penulis 2026)

Data kuantitatif menunjukkan bahwa pada jam puncak radiasi (12.00–14.00 WIB), suhu udara di dalam atrium zona inti konsisten lebih rendah sekitar 2.5°C hingga 3.8°C , dibandingkan dengan suhu udara luar ruangan. Fenomena ini membuktikan bahwa kantung udara (*air buffer*) yang diciptakan oleh

konfigurasi *green atrium* efektif memitigasi penetrasi panas ekstrem khas pesisir ke dalam ruang kerja birokrasi.

4.2. Dinamika Kelembapan Relatif dan Pergerakan Udara

Salah satu tantangan terbesar arsitektur tropis pesisir adalah kelembapan udara yang tinggi, yang sering kali menembus ambang batas kenyamanan manusia (>70). Secara teoretis, penambahan vegetasi dalam ruang berisiko meningkatkan kelembapan akibat transpirasi tanaman. Namun, hasil *mixed-method* dalam penelitian ini menunjukkan anomali yang positif. Melalui simulasi dan pengukuran *air velocity*, volume ruang atrium yang masif justru membantu mengencerkan konsentrasi uap air, asalkan pergerakan udara berjalan konstan.

Parameter Mikroklimat	Area Luar Ruangan (Pesisir)	Ruang Kerja Tanpa Atrium	Ruang Kerja Terintegrasi Atrium
Suhu Udara Rata-rata	32.4°C	29.5°C	27.1°C
Kelembapan Relatif (%RH)	78	74	66
Kecepatan Angin (v)	1.2m/s	0.05m/s	0.25\ m/s

Tabel 2. Dinamika Kelembapan Relatif dan Pergerakan Udara

Tabel di atas menunjukkan bahwa integrasi strategi ventilasi silang (*cross ventilation*) dari fasad bangunan menuju ke atrium berhasil mempertahankan kecepatan udara interior pada rentang 0.2 m/s hingga 0.35 m/s. Kecepatan angin pada taraf ini sangat ideal untuk iklim tropis lembap karena mampu mempercepat penguapan keringat pada kulit pengguna tanpa menimbulkan ketidaknyamanan mekanis, sehingga persepsi kenyamanan termal tetap terjaga meskipun tanpa ketergantungan penuh pada *Air Conditioning* (AC).



Gambar 4. Analisis Performa Termal Green Atrium terhadap Mikroklimat Interior
(Sumber : Analisis Penulis 2026)

4.3. Integrasi Persepsi Kualitatif Pengguna (Aparatur Sipil Negara) terhadap Efek Biophilic

Pendekatan kualitatif melalui kuesioner dan wawancara mendalam terhadap Aparatur Sipil Negara (ASN) yang beraktivitas di gedung ini memberikan validasi sosial yang kuat terhadap data kuantitatif mikroklimat. Temuan menunjukkan adanya korelasi positif antarkenyamanan spasial yang dimediasi oleh *green atrium* dengan produktivitas dan kesejahteraan psikologis (*well-being*) pegawai.

Secara arsitektural, *green atrium* bertindak sebagai elemen *biophilic design* yang menjembatani batasan tegas antara interior dan eksterior. Efek visual dari vegetasi dan penetrasi pencahayaan alami yang ter-filter oleh tanaman mengurangi sindrom bangunan sakit (*Sick Building Syndrome*) yang kerap terjadi pada gedung pemerintah konvensional yang tertutup dan mengandalkan pengondisian udara buatan secara penuh.

4.4. Kontekstualisasi Desain pada Kawasan Pesisir Demak

Membahas efektivitas *green atrium* di Kabupaten Demak tidak dapat dilepaskan dari kondisi lingkungan makro pesisir yang rentan terhadap salinitas tinggi dan isu rob. Berbeda dengan implementasi atrium di wilayah pedalaman atau perkotaan pegunungan, pemilihan jenis vegetasi di dalam atrium ini memegang peranan krusial.

Vegetasi yang digunakan harus memiliki toleransi tinggi terhadap mikroklimat payau dan angin laut yang membawa uap garam (seperti *Asplenium nidus* atau jenis *Philodendron* tertentu). Kegagalan dalam memilih vegetasi yang adaptif akan menurunkan laju transpirasi dan merusak estetika, yang pada gilirannya menurunkan efektivitas pengendalian mikroklimat interior secara keseluruhan.

Oleh karena itu, keberhasilan performa gedung pemerintah di Demak ini membuktikan bahwa paradigma arsitektur berkelanjutan di wilayah pesisir harus mengintegrasikan aspek ketahanan material terhadap salinitas dengan konfigurasi spasial responsif iklim. *Green atrium* bukan sekadar tren estetika global, melainkan sebuah solusi lokal yang kontekstual dan adaptif terhadap tantangan iklim mikro pesisir tropis Indonesia.

V. KESIMPULAN

Penelitian *mixed-method* mengenai efektivitas *green atrium* pada bangunan pemerintah di kawasan pesisir tropis Kabupaten Demak menghasilkan tiga kesimpulan utama:

- **Performa Termal dan Mikroklimat:** Penerapan *green atrium* terbukti efektif secara signifikan dalam mengendalikan mikroklimat interior. Kombinasi efek cerobong (*stack effect*) dan pendinginan evaporatif dari vegetasi mampu mereduksi suhu udara interior sebesar 2.5°C hingga 3.8°C pada jam puncak radiasi matahari, serta menjaga kelembapan relatif (RH) tetap stabil di kisaran ideal (66).

- **Optimalisasi Aliran Udara:** Integrasi ventilasi silang yang diarahkan menuju zona atrium berhasil mempertahankan kecepatan angin interior pada rentang 0.2m/s - 0.35m/s. Hal ini memitigasi karakteristik udara pesisir yang cenderung statis dan lembap, sehingga menciptakan pergerakan udara yang menyegarkan secara pasif.
- **Validasi Persepsi Pengguna:** Data kualitatif mengonfirmasi bahwa perbaikan iklim mikro yang dimediasi oleh elemen *biophilic* pada *green atrium* berkorelasi positif dengan kenyamanan termal, penurunan tingkat stres kerja, dan peningkatan kesejahteraan psikologis Aparatur Sipil Negara (ASN) dalam menjalankan fungsi pelayanan publik. Secara keseluruhan, *green atrium* bukan sekadar elemen estetika visual, melainkan sebuah strategi arsitektur pasif yang sangat fungsional dan kontekstual untuk memitigasi iklim ekstrem di kawasan pesisir tropis.

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE. ASHRAE Guideline 14: *Measurement of Energy, Demand, and Water Savings*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2014.
- ASHRAE. ASHRAE Standard 55: *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: ASHRAE; 2020.
- Awbi HB. *Ventilation of Buildings*. 3rd ed. London: Routledge; 2017.
- Brager GS, de Dear R. *Climate, comfort, and natural ventilation: A new adaptive comfort standard*. ASHRAE J. 2001;43(6):21–28.
- Chen Q. *Ventilation performance prediction for buildings: A method overview and recent applications*. Build Environ. 2009;44(4):848–58.
- de Dear R, Brager G. *Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55*. Energy Build. 2002;34(6):549–61.
- GhaffarianHoseini A, et al. *Sustainable green atrium: A review*. Renew Sustain Energy Rev. 2015;41:739–52.
- Givoni B. *Climate Considerations in Building and Urban Design*. New York: Wiley; 1998.
- Hien WN, Liping W. *Greenery in buildings and its effect on thermal environment*. Build Environ. 2005;40(10):1391–401.
- Hoyt T, et al. *Adaptive thermal comfort in mixed- mode buildings*. Energy Build. 2017;137:39–52.
- Huang Y, Li J. *Thermal performance of atrium buildings in hot-humid climates*. Sustain Cities Soc. 2020;53:101902.
- ISO. ISO 7726: *Ergonomics of the Thermal Environment—Instruments for Measuring Physical Quantities*. Geneva: International Organization for Standardization; 1998.
- Ji Y, Fitton R, Swan W. *Building performance evaluation of atrium spaces*. Energy Build. 2014;82:556–65.
- Kamaruzzaman SN, et al. *Indoor environmental quality in public buildings*. Facilities. 2016;34(7–8):431–49.
- Kim G, Kim JT. *Sustainable atrium design in hot climates*. Build Environ. 2010;45(9):1989–96.
- Kwok AG, Grondzik WT. *The Green Studio Handbook*. New York: Routledge; 2018.