



Natural Lighting and Thermal Comfort in Biophilic Workspace: Case Study of ID Office

Bobby Alexander Riady^{1*}, L.M.F. Purwanto²

¹ interlude.bobby@gmail.com, Program Studi Doktor Arsitektur, Universitas Katolik Soegijapranata

² lmf_purwanto@unika.ac.id, Program Studi Doktor Arsitektur, Universitas Katolik Soegijapranata

*Corresponding author: interlude.bobby@gmail.com

Received 29/05/2026	ABSTRACT
Received in revised form 24/08/2026	<i>Natural lighting and thermal comfort are two key variables in the design of biophilic office spaces, particularly in humid tropical climates. This study evaluates the performance of these variables in the offices of the design firm ID Company in BSD, Tangerang—a space that has incorporated five biophilic patterns based on Browning's (2014) theory. Previous research on biophilic workspace design highlights the crucial role of natural lighting in visual comfort, work efficiency, and user mental health. The research methodology involved digital simulations (using Rhinoceros-Grasshopper-Ladybug-Honeybee and EnergyPlus), on-site measurements (using lux meters and thermo-hygrometers), and user perception questionnaires. The results reveal an uneven distribution of natural light: areas near windows achieved 188–334 lux but posed a glare risk, whereas central areas recorded only 58–95 lux—levels falling below the 300-lux minimum requirement for workspaces stipulated by the SNI 6197:2011 standard. Overall, thermal conditions remained within the tropical comfort zone (26.2–27.1°C), although glass surface temperatures reached 36–39°C during the day, influencing the mean radiant temperature (MRT). A comparison between simulation results and field measurements showed good agreement, with an average temperature difference of less than 1.7°C. User perception feedback corroborated these technical findings. The study concludes that in humid tropical climates, implementing biophilic elements solely through large, single-sided windows is insufficient to achieve optimal visual and thermal comfort without comprehensive strategies to control both light and heat radiation.</i>
Accepted 26/09/2026	Keywords: Biophilic Design, Natural Lighting, Simulation, Thermal Comfort, Tropical Workspace

PENDAHULUAN

Pencahayaannya alami merupakan salah satu elemen kunci dalam desain arsitektur, terutama di wilayah tropis dekat khatulistiwa yang memiliki sinar matahari yang kuat sepanjang tahun [1]. Di ruang kerja, pencahayaan alami memiliki peran penting dalam kenyamanan visual, efisiensi kerja, dan kesehatan mental pengguna [1]. Intensitas cahaya yang tinggi di iklim tropis sering kali menyebabkan distribusi cahaya yang tidak merata, silau, dan peningkatan beban panas, yang pada gilirannya memengaruhi kenyamanan termal [2]. Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan ruang kerja tropis sering kali mengalami kondisi cahaya yang terlalu terang dan kurang cahaya secara bersamaan, sehingga mengurangi efektivitas pencahayaan alami dalam mendukung kinerja visual pengguna [3][1].

Disisi lain, penelitian lain menunjukkan bahwa unsur-unsur biofilik seperti cahaya alami, tanaman, dan bahan-bahan alami memiliki dampak positif terhadap suasana suatu ruang dan dapat meningkatkan kenyamanan pengguna [4]. Berbagai studi telah menunjukkan bahwa penerapan unsur-unsur biofilik tidak hanya meningkatkan kenyamanan visual dan termal, tetapi juga meningkatkan kesejahteraan kognitif dan mental pengguna ruang [3]. Asojo dan Hazazi [5] menemukan bahwa menerapkan sebagian kecil dari strategi biofilik saja sudah cukup untuk memberikan dampak positif terhadap kesehatan dan produktivitas pengguna, oleh karena itu penelitian lebih lanjut mengenai efektivitasnya sangat penting untuk pemahaman yang komprehensif mengenai potensi penerapannya. Kenyamanan visual tidak dapat dipisahkan dari kenyamanan termal [6]. Radiasi matahari yang kuat di iklim tropis dapat meningkatkan suhu dalam ruangan dan menambah beban panas, terutama pada bangunan dengan luas jendela yang besar atau yang terpapar langsung sinar matahari [2]. Penelitian yang dilakukan oleh Azmi dkk [7] pada gedung perkantoran menunjukkan bahwa meskipun tingkat pencahayaan sesuai dengan standar SNI, suhu dan kelembaban dalam ruangan tetap tidak berada dalam zona kenyamanan.

Temuan ini menunjukkan bahwa pengelolaan cahaya alami dan kenyamanan termal harus diintegrasikan, bukan ditangani secara terpisah. Penelitian-penelitian sebelumnya umumnya mengkaji pencahayaan alami, kenyamanan termal, atau desain biofilik secara terpisah, dengan sedikit penelitian yang mengevaluasi ketiga aspek tersebut secara bersamaan dalam satu bangunan yang sama. Damayanti dkk [2] mengevaluasi pencahayaan alami pada gedung perkantoran di daerah tropis, namun tidak secara eksplisit mengaitkannya dengan pola-pola biofilik. Sementara itu, Asojo dan Hazazi [5] meneliti dampak strategi biofilik terhadap kualitas lingkungan dalam ruangan, tetapi tidak melakukan pengukuran kuantitatif spesifik terhadap pencahayaan alami dan kinerja termal menggunakan data lapangan.

Di wilayah tropis lembab Indonesia, penelitian yang mengintegrasikan simulasi digital, pengukuran lapangan, dan persepsi pengguna untuk mengevaluasi ruang kerja biofilik masih terbatas. Justru kesenjangan penelitian inilah yang menjadi landasan dan aspek inovatif dari penelitian ini. Ruang kantor ID Company di BSD Tangerang menjadi studi kasus yang sangat berharga bagi penelitian ini, karena bangunan tersebut menerapkan konsep arsitektur *biophilic*, yang memaksimalkan pemanfaatan cahaya alami melalui bukaan besar di sisi utara serta penggunaan material interior yang dapat meningkatkan reflektifitas cahaya. Namun, keefektifan strategi-strategi tersebut belum diverifikasi melalui metode evaluasi kuantitatif yang menggabungkan simulasi digital, pengukuran lapangan, dan persepsi pengguna. Pencahayaan alami (pencahayaan sinar matahari) merupakan salah satu strategi pasif terpenting dalam sistem teknik bangunan, terutama di daerah tropis yang memiliki intensitas sinar matahari tinggi sepanjang tahun. Pencahayaan alami membantu menyediakan pencahayaan yang memadai untuk aktivitas visual, sekaligus mengurangi ketergantungan berlebihan pada pencahayaan buatan, sehingga dapat menurunkan konsumsi listrik [8]. Kenyamanan visual di ruang kerja dipengaruhi oleh beberapa faktor teknis yang saling terkait, yaitu: (1) intensitas pencahayaan; (2) distribusi cahaya di dalam ruang; (3) kemungkinan silau; (4) orientasi bukaan; (5) koefisien pantulan permukaan dalam ruangan; serta (6) kondisi cuaca harian. Berdasarkan standar SNI 6197:2011, tingkat pencahayaan yang direkomendasikan untuk ruang kerja adalah 300–500 lux, guna memastikan kegiatan membaca, mengetik, dan tugas visual lainnya dapat dilakukan dengan nyaman. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pencahayaan alami yang baik dapat meningkatkan efisiensi kerja, mengurangi kelelahan mata, dan memperbaiki ritme sirkadian karyawan [1]. Penelitian Dwiprasetya dan Mildawani [8] menemukan bahwa dalam konteks produktivitas kantor, preferensi pengguna terhadap desain *biophilic* menunjukkan bahwa

cahaya dinamis dan cahaya tersebar merupakan salah satu elemen yang paling sering dipilih, yang mengindikasikan bahwa kualitas cahaya alami yang berubah-ubah memiliki dampak psikologis positif bagi pengguna di tempat kerja. Pencahayaan yang tidak memadai dapat mempengaruhi suasana hati dan kesehatan mental pengguna; oleh karena itu, intensitas pencahayaan harus disesuaikan dengan jenis aktivitas yang sedang berlangsung [9].

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas pencahayaan alami dan kenyamanan termal di ruang kerja ID berdasarkan standar dan teori pencahayaan, serta standar kenyamanan termal di iklim tropis, sekaligus menganalisis hubungan antara penerapan pola desain biofilik dan kinerja fisik ruang tersebut. Analisis dilakukan melalui simulasi digital, pengukuran lapangan, dan kesesuaian dengan persepsi pengguna. Keunikan penelitian ini terletak pada pendekatan komprehensifnya, yang mengintegrasikan kinerja teknis ruang (pencahayaan alami dan kenyamanan termal) dengan pola desain biofilik yang diterapkan, sehingga memberikan wawasan baru mengenai efektivitas desain pola biofilik seperti pada Tabel 1 dalam konteks arsitektur tropis lembab dalam tiga zona desain.

Tabel 1 Pola *Biophilic* dalam 3 Zona Desain

<i>Nature in the Space Patterns</i>	<i>Natural Analogues Patterns</i>	<i>Nature of the Space Patterns</i>
<i>Visual Connection with Nature</i>	<i>Biomorphic Forms & Patterns</i>	Prospect
<i>Non-Visual Connection with Nature</i>	<i>Material Connection with Nature</i>	Refuge
<i>Non-Rhythmic Sensory Stimuli</i>	<i>Complexity & Order</i>	Mystery
<i>Thermal & Airflow Variability*</i>		Risk/Peril
<i>Presence of Water</i>		
<i>Dynamic & Diffuse Light*</i>		
<i>Connection with Natural Systems</i>		

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi kasus yang dipadukan dengan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk mengevaluasi pencahayaan alami dan kenyamanan termal pada ruang kerja desain interior. Analisis dilakukan melalui tiga jalur komprehensif: (1) simulasi numerik untuk memprediksi kinerja interior; (2) pengukuran lapangan untuk memperoleh data empiris aktual; (3) evaluasi subjektif pengguna melalui wawancara. Penelitian ini menggunakan metode triangulasi data untuk meminimalkan bias dan memastikan bahwa kinerja interior dapat dievaluasi secara bersamaan dari tiga aspek: prediksi, data empiris, dan persepsi.

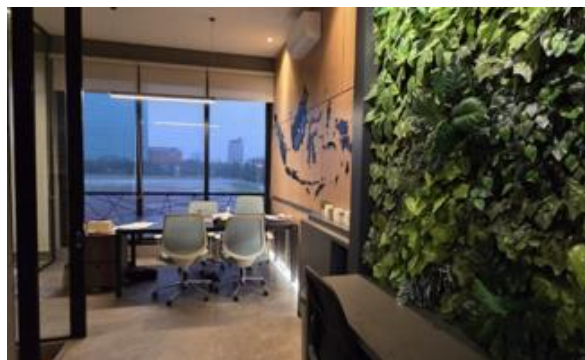
1. Kerangka Konseptual Hubungan Variabel

Dalam penelitian ini, tiga model *biophilic* yang dikemukakan oleh Browning [10] dipilih sebagai kerangka analisis untuk menghubungkan desain arsitektur dengan kinerja fisik ruang. Pertama, model “Cahaya Dinamis dan Difus” dievaluasi melalui simulasi distribusi pencahayaan dan pencahayaan alami, untuk menilai apakah variasi cahaya alami tidak hanya sesuai dengan prinsip-prinsip biofilik, tetapi juga memenuhi standar SNI. Kedua, model “Variabilitas Lingkungan

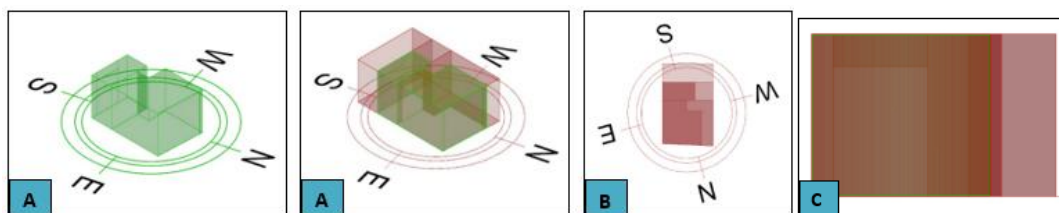
Termal dan Aliran Udara” dievaluasi melalui pengukuran suhu, kelembaban, dan suhu radiasi rata-rata (MRT), guna menganalisis apakah lingkungan termal ruang tersebut memberikan rangsangan alami yang positif, atau justru menimbulkan ketidaknyamanan akibat panas radiasi yang berlebihan. Ketiga, model “Hubungan Visual dengan Alam” dievaluasi melalui persepsi pengguna terhadap kenyamanan visual dan pengalaman ruang. Ketiga model ini menjembatani kesenjangan antara metode teknis dan pengalaman psikologis pengguna ruang. Penelitian Morresi *et al.* [11] menekankan bahwa untuk memahami kenyamanan termal, diperlukan metode pengukuran yang lebih inovatif dan realistis, terutama di lingkungan kantor, karena kondisi di lingkungan tersebut dapat berubah-ubah sepanjang hari. Standar SNI 6390 menyebutkan bahwa beban termal ruangan dipengaruhi oleh struktur bangunan, pencahayaan, penghuni, ventilasi, dan peralatan. Tanpa pengendalian ventilasi yang tepat, tempat kerja di daerah tropis dapat menjadi terlalu panas dan lembab, sehingga menurunkan kenyamanan dan produktivitas karyawan.

2. Objek dan Lokasi Penelitian

Objek penelitian ini adalah area kantor pusat Perusahaan Interlude Design (ID), yang terletak di lantai tiga BSD City, Tangerang. Ruang kantor ini mengadopsi konsep desain biofilik, dengan pencahayaan alami berupa ventilasi alami. Material interior kantor didominasi oleh kayu dan tanaman, yang menciptakan karakter biofilik, serta mengintegrasikan lima pola biofilik: koneksi visual dengan alam, variasi suhu dan aliran udara, kehadiran air, koneksi dengan bahan-bahan alami, serta cahaya yang dinamis dan tersebar. Area Penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Visual Ruang Kerja Lantai 1
(Sumber: Analisis Peneliti, 2026)

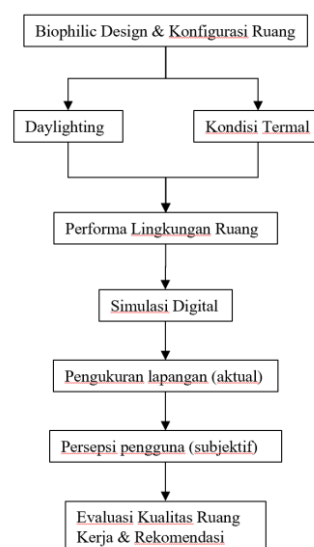


Gambar 2. (A) Area simulasi (B) Tampak Atas (C) Tampak Depan
(Sumber: Analisis Peneliti, 2026)

3. Instrumen dan Teknik Pengumpulan Data

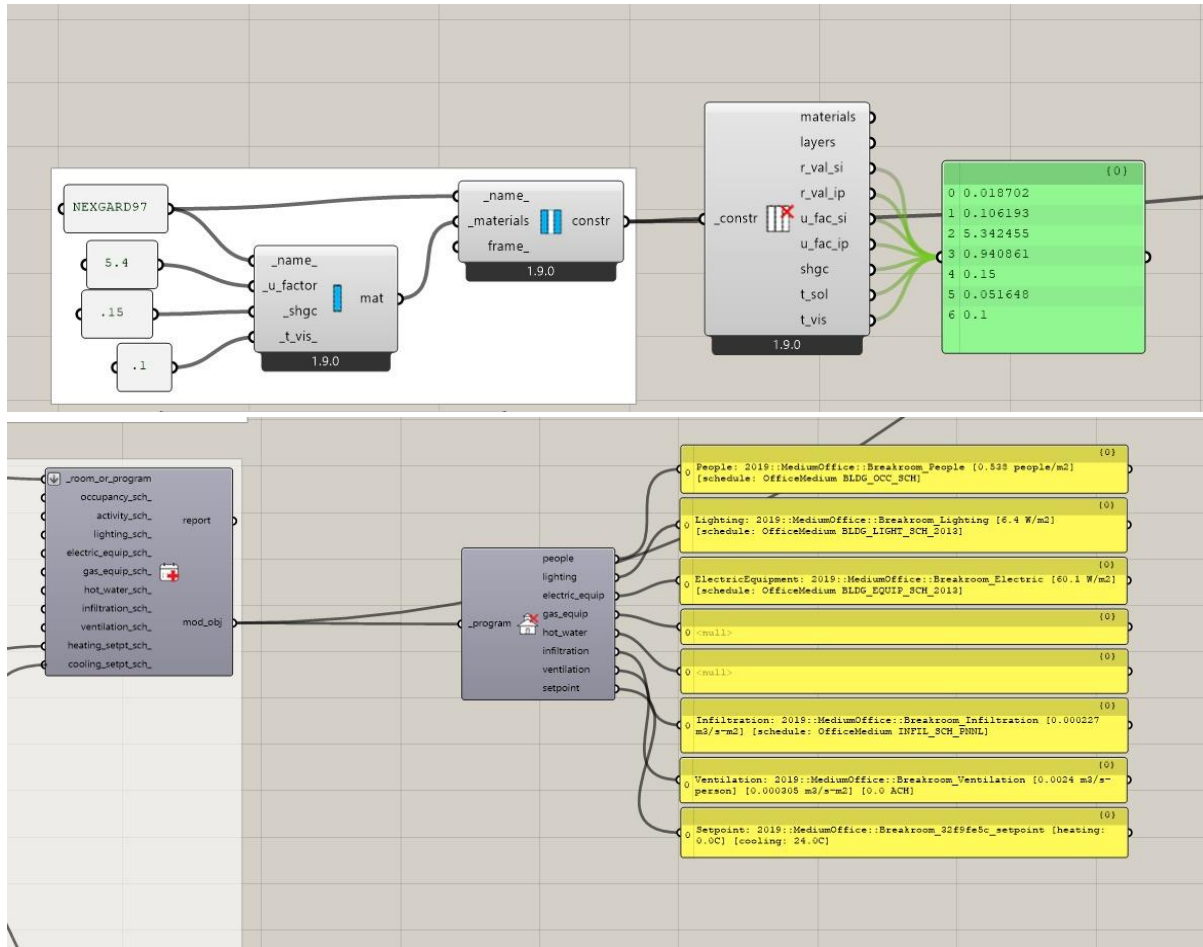
Proses penelitian meliputi: (1) survei lapangan, mencatat kondisi ruang saat ini serta karakteristik bukaan; (2) simulasi pencahayaan menggunakan perangkat lunak *Rhinoceros* yang dipadukan dengan *plugin Grasshopper* serta alat *Ladybug*, *Honeybee*, dan *Honeybee Radiance*; (3) simulasi termal menggunakan perangkat lunak yang dipadukan dengan data iklim Tanglang (berkas EPW);

(4) pengukuran intensitas pencahayaan alami menggunakan fotometer digital; (5) Pengukuran suhu dan kelembaban udara menggunakan termohigrometer digital; (6) Pembuatan peta distribusi suhu permukaan menggunakan kamera termal FLIR One Pro; serta (7) Wawancara terstruktur dengan empat karyawan yang sering menggunakan ruang kerja tersebut. Pengukuran lapangan dilakukan pada lima periode waktu yang representatif, yaitu pukul 09:00, 11:00, 13:00, 15:00, dan 17:00 WITA, untuk mencerminkan perubahan pencahayaan dan lingkungan termal selama jam kerja. Kenyamanan termal adalah kondisi di mana seseorang merasa puas dengan lingkungan termalnya. Berdasarkan standar ASHRAE 55 [18] dan teori lingkungan termal tropis, faktor-faktor yang menentukan kenyamanan termal meliputi: (1) suhu udara; (2) kelembaban relatif (RH); (3) kecepatan angin; (4) suhu radiasi rata-rata (MRT); dan (5) tingkat aktivitas penghuni atau laju metabolisme. Kenyamanan termal sangat penting bagi pengguna, sekaligus mempengaruhi konsumsi energi bangunan [12]. Di wilayah beriklim tropis seperti Indonesia, suhu yang nyaman umumnya berkisar antara 24–28°C [13], sedangkan kelembaban ideal yang mendukung kenyamanan termal berada dalam kisaran 50–60% [14].



Gambar 3. Proses dan Tahapan Penelitian.
(Sumber: Analisis Peneliti, 2026)

Gambar 3 menunjukkan alur penelitian yang diawali dengan penetapan variabel utama dari penerapan *biophilic design* dan konfigurasi ruang sebagai kerangka dasar yang akan dikaji pengaruhnya terhadap performa ruangan. Selain data objektif dari simulasi dan pengukuran lapangan, penelitian ini juga mempertimbangkan aspek subjektif melalui persepsi pengguna. Tahap ini penting karena kenyamanan ruang tidak semata ditentukan oleh angka-angka teknis, tetapi juga oleh bagaimana pengguna ruang benar-benar merasakan dan menilai kondisi lingkungan tempat mereka beraktivitas. Seluruh data yang diperoleh, baik dari simulasi digital, pengukuran lapangan, maupun persepsi pengguna, kemudian diintegrasikan pada tahap akhir berupa evaluasi kualitas ruang kerja dan perumusan rekomendasi. Tahap ini menjadi puncak dari keseluruhan proses penelitian, di mana temuan-temuan yang bersifat objektif dan subjektif dipadukan untuk menghasilkan simpulan yang komprehensif serta rekomendasi desain yang dapat diterapkan untuk meningkatkan kualitas ruang kerja berbasis *biophilic design*. Gambar 4 menunjukkan proses simulasi menggunakan *Rhinoceros-Grasshopper*.



Gambar 4. Proses Rhinoceros-Grasshopper
(Sumber: Analisis Peneliti, 2026)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kondisi Eksisting dan Karakteristik Selubung Bangunan

Di sisi utara area kantor desainer ID Company yang terletak di lantai tiga, terdapat jendela berukuran besar yang dilengkapi tirai gulung untuk menurunkan suhu ruangan pada waktu-waktu tertentu sepanjang hari. Ruang interior didominasi oleh kayu dan tanaman, sehingga menciptakan suasana yang sangat ramah lingkungan. Jendela menggunakan kaca bening setebal 8 mm yang dilapisi dengan film jendela Nexgard dengan tingkat transmisi cahaya 80%, dengan nilai U sebesar $5,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ dan koefisien gain panas matahari (SHGC) sebesar 0,15. Dinding luar terbuat dari bata merah yang diplester dan dicat putih, sedangkan dinding dalam dilapisi dengan panel dinding papan lapis berlapis HPL. Berdasarkan kombinasi material tersebut, nilai transmisi panas total (OTTV) bangunan ini adalah $8,31 \text{ W/m}^2$, yang menunjukkan kinerja termal struktur penutup bangunan yang baik, sesuai dengan persyaratan standar SNI 6389:2011.

2. Hasil Simulasi dan Pengukuran Pencahayaan Alami

Simulasi pencahayaan yang dilakukan menggunakan perangkat lunak *Rhinoceros-Grasshopper* bersama dengan alat *Ladybug*, *Honeybee*, dan *Honeybee Radianc* menunjukkan bahwa intensitas pencahayaan rata-rata di area dekat jendela sekitar 220–360 lux, yang secara bertahap berkurang

menuju bagian tengah ruangan, sehingga di area tengah hanya mencapai 70 –110 lux. Pada pukul 09.00, intensitas pencahayaan masih relatif rendah, dengan cahaya terutama terkonsentrasi di sekitar bukaan dan berkurang secara bertahap ke arah dalam ruang. Pada pukul 11.00, intensitas pencahayaan meningkat secara signifikan, dengan nilai intensitas cahaya tertinggi terkonsentrasi di sekitar bukaan. Pada pukul 13.00, intensitas pencahayaan tetap pada tingkat yang tinggi, namun distribusinya mulai merata. Pada pukul 17.00, intensitas pencahayaan di seluruh ruangan mengalami penurunan yang signifikan.

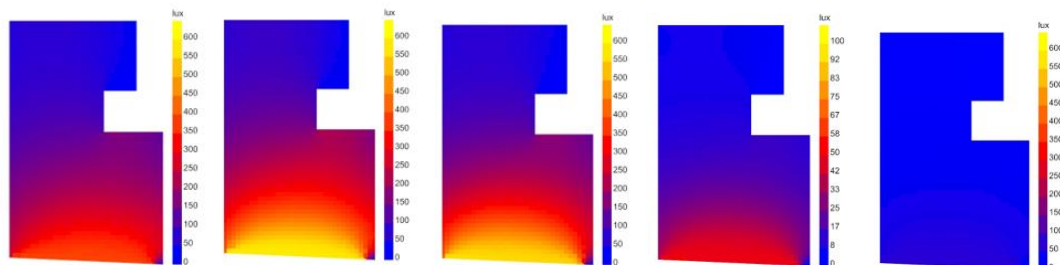
Pengukuran lapangan pada Tabel 2, 3 dan Gambar 5 dan 6 yang dilakukan dengan menggunakan pengukur pencahayaan menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara tingkat pencahayaan di area dekat jendela dan area tengah ruangan sepanjang hari. Di area dekat jendela, nilai pencahayaan berkisar antara 188 hingga 334 lux, dengan nilai tertinggi tercatat pada pukul 15.00. Sementara itu, tingkat pencahayaan di area tengah ruangan jauh lebih rendah, hanya berkisar antara 58 hingga 95 lux. Bahkan pada tengah hari, pencahayaan di area tersebut tidak mencapai persyaratan minimum 300 lux yang ditetapkan dalam standar SNI 6197:2011.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Pencahayaan Lapangan dengan Lux-Meter

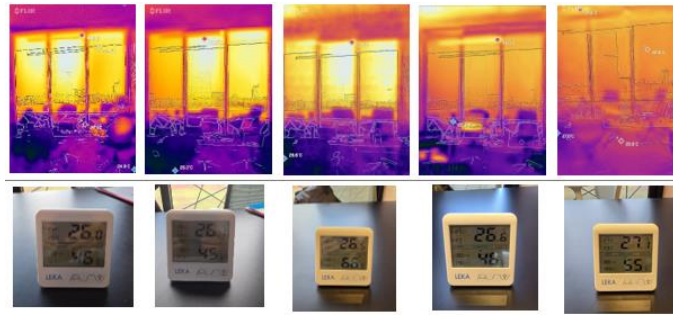
Zona Waktu	09.00	11.00	13.00	15.00	17.00
	lux				
Dekat Jendela	188	256	320	334	261
Tengah Jendela	62	74	95	80	58
Standar SNI Min	300	300	300	300	300

Tabel 3. Perbandingan Simulasi Daylighting vs Pengukuran Lapangan

Area	Simulasi	Lapangan	Catatan
	lux		
Dekat Jendela	220-360	188-334	Selisih kecil; simulasi lebih tinggi
Tengah Jendela	70-110	58-95	Keduanya di bawah Standar SNI 300 lux



Gambar 5. Hasil Simulasi Pukul 09.00, 11.00, 13.00, 15.00, dan 17.00
(Sumber: Analisis Peneliti, 2026)



Gambar 6. Visual Flir dan Pengukuran Hygro-meter Pukul 09.00, 11.00, 13.00, 15.00, dan 17.00
(Sumber: Analisis Peneliti, 2026)

3. Kualitas Pencahayaan Alami dan Relevansi terhadap Pola *Biophilic*

Temuan mengenai distribusi pencahayaan yang tidak merata ini sejalan dengan hasil penelitian Rohman *et al.* [1] yang menunjukkan bahwa pada gedung perkantoran tropis dengan jendela berukuran besar di satu sisi, terdapat fenomena di mana area dengan pencahayaan berlebihan dan area dengan pencahayaan kurang terjadi secara bersamaan. Laila [3] juga melaporkan situasi serupa dalam penelitiannya terhadap sebuah perpustakaan di Yogyakarta: area di dekat dinding kaca mengalami pencahayaan yang terlalu terang, yang sebenarnya menimbulkan silau yang berpotensi mengganggu kenyamanan visual, sementara area di dalam ruangan justru mengalami kekurangan cahaya. Fenomena gradien intensitas cahaya yang tinggi ini merupakan ciri umum ruang kerja tropis yang memiliki jendela di satu sisi dan kurang dilengkapi dengan perangkat pengendali cahaya yang memadai.

Pola gradien pencahayaan ini bertentangan langsung dengan prinsip cahaya dinamis dan cahaya tersebar dalam desain *biophilic*. Browning [10] mendefinisikan pola ini sebagai: pencahayaan yang berubah seiring waktu dan tersebar secara merata, sehingga menciptakan pengalaman seolah-olah berada di luar ruangan. Namun, di ruang kerja ID, distribusi cahaya sebenarnya sangat tidak merata (perbedaan intensitas pencahayaan antara area dekat jendela dan area tengah mencapai 239 lux pada pukul 15.00), yang berarti prinsip cahaya dinamis dan cahaya tersebar belum terwujud secara optimal. Penelitian Rahadian *et al.* [15] menunjukkan bahwa intervensi dengan menggunakan panel pencahayaan statis di kantor terbuka dapat meningkatkan penetrasi dan distribusi cahaya alami ke area yang sebelumnya kurang mendapat pencahayaan, sehingga menjadikan elemen ini sebagai solusi yang efektif untuk ruang kerja desain interior.

Konsep desain “koneksi visual dengan alam” ini diwujudkan melalui jendela besar yang menghadap ke area hijau di sisi utara, yang memang meningkatkan pengalaman estetika pengguna. Namun, dari sudut pandang teknis, jendela besar di satu sisi memperparah ketidakseimbangan distribusi cahaya. Temuan ini menunjukkan adanya manfaat psikologis yang dihasilkan oleh koneksi visual dan dampak teknis dari distribusi cahaya yang tidak merata—temuan ini belum banyak dibahas dalam literatur desain *biophilic* yang ada. Hal ini menyoroti pentingnya strategi pengendalian pencahayaan yang terintegrasi untuk memastikan manfaat desain *biophilic* dapat terwujud secara merata di seluruh ruang kerja.

4. Hasil Simulasi dan Pengukuran Termal

Simulasi termal dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yang dipadukan dengan data iklim format EPW dari Tangerang. Simulasi ini menghasilkan kurva suhu harian yang mencerminkan respons termal bangunan terhadap radiasi matahari berdasarkan orientasi dan konfigurasi volumenya. Hasil simulasi pada Tabel 4 dan 5 menunjukkan bahwa orientasi bangunan

memainkan peran penting dalam menentukan intensitas radiasi matahari yang diterima oleh sistem *enclosure* bangunan, terutama pada sisi barat dan timur, yang menerima intensitas radiasi yang lebih tinggi. Pengukuran termal di lapangan yang dilakukan dengan termohigrometer dan kamera termal FLIR One Pro menunjukkan bahwa suhu udara dalam ruangan berkisar antara 26,2–27,1°C sepanjang hari kerja, yang masih berada dalam kisaran kenyamanan tropis menurut standar Koenigsberger [13] dan ASHRAE [4]. Namun, pada pukul 13.00, suhu permukaan kaca yang diukur menggunakan kamera termal FLIR mencapai 37–39°C, yang membentuk titik panas radiasi dan menyebabkan peningkatan MRT di area dekat jendela.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Termal Lapangan

Waktu	Suhu Udara (C°)	Kelembaban RH (%)	Suhu Permukaan Kaca (Flir)	Catatan
09.00	26,2	68%	30–33°C	Pagi sejuk, radiasi belum maksimal
11.00	26,8	66%	36–38°C	Radiasi meningkat, hotspot area atas kaca
13.00	26,5	66%	37–39°C	Puncak radiasi, suhu kaca tertinggi
15.00	26,6	46%	36–38°C	Akumulasi panas sore, RH menurun
17.00	27,1	55%	30–32°C	Matahari menurun, kondisi mulai stabil

Tabel 5. Hasil Pengukuran Termal Lapangan

Waktu	Suhu Simulasi (C°)	Suhu Real (C°)	Selisih (C°)	RH Simulasi (%)	RH Real (%)
09.00	25,8	26,2	-0,4	70	68
11.00	26,5	26,8	-0,3	67	66
13.00	27,8	26,5	+1,3	63	66
15.00	28,3	26,6	+1,7	58	46
17.00	27,2	27,1	+0,1	55	55

5. Kondisi Termal dan Relevansinya terhadap Pola *Biophilic*

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pola perubahan suhu harian sesuai dengan data pengukuran lapangan, dengan selisih suhu rata-rata sebesar 0,1–1,7°C. Perbedaan terbesar terjadi pada pukul 13.00 dan 15.00, di mana suhu puncak yang diprediksi model lebih tinggi daripada kondisi aktual. Hal ini mungkin disebabkan oleh ketidakmampuan model untuk mempertimbangkan secara memadai perilaku adaptasi pengguna, seperti penggunaan tirai gulung dan pendingin udara secara berkala. Secara keseluruhan, tingkat kesesuaian ini membuktikan bahwa model *EnergyPlus* yang dikembangkan memiliki representasi yang memadai dan dapat digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi skenario perbaikan. Meskipun suhu rata-rata berada dalam kisaran tropis yang nyaman (26,2–27,1°C), lingkungan termal ruangan tersebut belum sepenuhnya memenuhi prinsip-prinsip kenyamanan termal secara keseluruhan. Suhu permukaan

kaca pada siang hari mencapai 37–39°C, yang menyebabkan peningkatan MRT di dekat jendela. Menurut penelitian Fanger [16] hal ini dapat meningkatkan sensasi panas meskipun suhu udara masih berada dalam kisaran yang nyaman. Azmi dkk. (2024) [7] melaporkan temuan serupa, di mana mereka menemukan bahwa pada gedung perkantoran tropis dengan luas jendela yang besar, suhu permukaan kaca merupakan sumber utama panas radiasi, dan pengukuran suhu udara saja tidak dapat menangkap panas radiasi tersebut.

Dalam konteks desain *biophilic*, pola “perubahan suhu dan aliran udara” mengharuskan penciptaan pengalaman alamiah melalui variasi suhu dan aliran udara. Kondisi lingkungan yang diamati di studio desain tersebut menunjukkan adanya perubahan suhu; namun, perubahan tersebut cenderung bersifat negatif, yaitu terbentuknya titik panas di dekat jendela pada siang hari—bukanlah hal yang menyehatkan dan menyegarkan. Hasil wawancara juga mengkonfirmasi hal ini: sebagian besar karyawan lebih memilih menggunakan AC daripada membuka jendela, yang menunjukkan bahwa perubahan suhu yang ada saat ini tidak memberikan rangsangan alami yang diharapkan dalam model *biophilic*. Penelitian Ristianti *et al.* [17] menunjukkan bahwa desain *biophilic* yang efektif seharusnya membantu menurunkan suhu yang dirasakan dan meningkatkan kenyamanan psikologis namun kondisi-kondisi ini belum sepenuhnya terwujud di area dekat jendela ruang kerja ID.

6. Proyeksi Konsumsi Energi dan Dampak Skenario Perbaikan

Berdasarkan hasil simulasi dalam kondisi saat ini, perkiraan beban pendinginan di area kerja ID menunjukkan bahwa beban puncak terjadi antara pukul 13.00 hingga 15.00 akibat penumpukan panas yang disebabkan oleh sinar matahari yang masuk langsung melalui kaca. Hal ini sejalan dengan suhu permukaan kaca tertinggi yang terukur (37–39°C) serta koefisien perolehan panas matahari (SHGC) film jendela sebesar 0,15. Untuk mengevaluasi efektivitas rekomendasi yang diajukan, dua skema perbaikan disimulasikan dan dibandingkan dengan kondisi saat ini: (1) Skema A: Menambahkan atap peneduh horizontal selebar 60 cm di bagian atas jendela yang menghadap utara; (2) Skema B: Menambahkan tirai kayu vertikal dengan tingkat lubang 40% di bagian luar jendela sebagai lapisan peneduh kedua, yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Kondisi Eksisting vs Skenario Perbaikan (Simulasi)

Parameter	Eksisting	Skenario A (<i>Light Shelf</i>)	Skenario B (<i>Secondary Skin</i>)	Standar
Illuminasi Zona Tengah (lux, rata-rata)	58–95	110–180	90–145	Min. 300
Illuminasi Zona Jendela (lux, maks)	188–334	160–280	120–250	Maks. 500
Suhu Udara Puncak (°C, pukul 13.00)	26,5	26,2	25,9	24–28
Suhu Permukaan Kaca Maks. (°C)	37–39	33–36	30–34	< 35

Simulasi skenario menunjukkan bahwa penambahan rangka pencahayaan (Skema A) diperkirakan dapat meningkatkan intensitas pencahayaan di area tengah sekitar 89% hingga 110% dibandingkan kondisi saat ini, sekaligus menurunkan suhu permukaan kaca sekitar 3°C. Lapisan kulit sekunder (Skema B) dapat menurunkan suhu permukaan secara lebih signifikan (hingga 5°C), namun peningkatan intensitas pencahayaan di area tengah relatif kecil. Kedua skema tersebut tidak

sepenuhnya memenuhi standar intensitas cahaya minimum 300 lux di area tengah, yang menunjukkan bahwa renovasi struktur penutup bangunan perlu dikombinasikan dengan penambahan pencahayaan buatan di area tersebut. Hasil penelitian Rahadian *et al.* [15] mendukung efektivitas kanopi cahaya dalam meningkatkan penetrasi cahaya alami ke area dalam ruangan di lingkungan gedung perkantoran tropis, yang sejalan dengan hasil prediksi simulasi ini.

7. Hubungan *Biophilic*, Kualitas Pencahayaan, dan Kenyamanan Termal

Dari lima model biofilik yang diterapkan di kantor ID, tiga di antaranya ditemukan memiliki hubungan langsung yang dapat diukur dengan kinerja fisik ruang tersebut. Temuan penelitian ini membantu membangun hubungan antara penerapan model biofilik dengan kondisi fisik ruang yang dapat diukur, suatu kontribusi yang belum banyak ditemukan dalam literatur yang ada. Model “Cahaya Dinamis dan Tersebar” membutuhkan cahaya alami yang berubah secara dinamis dan tersebar merata untuk memicu pengalaman ruang sensorik yang kaya dan beragam. Namun, hasil pengukuran menunjukkan bahwa pola ini belum diimplementasikan secara optimal, karena gradien pencahayaan antara area jendela dan area tengah sangat tinggi, bahkan mencapai 239 lux pada pukul 15.00. Kondisi ini sebenarnya menimbulkan pengalaman ruang yang kontras dan tidak merata, yang bertentangan dengan prinsip cahaya difus yang mensyaratkan distribusi cahaya yang lembut dan merata. Hal ini mengkonfirmasi kesimpulan penelitian Browning [10]: Hanya mengandalkan satu bukaan besar tanpa elemen redistribusi cahaya tidak cukup untuk mewujudkan model ini secara efektif. Variabilitas lingkungan termal dan aliran udara secara langsung terkait dengan kenyamanan termal yang bervariasi secara alami. Meskipun suhu udara berada dalam rentang yang nyaman, suhu radiasi permukaan kaca dapat mencapai 39°C pada siang hari, yang bertentangan dengan prinsip variasi termal yang sehat—hal ini membentuk zona panas yang tidak nyaman di dekat jendela, bukan perubahan suhu yang menyegarkan. Pengguna lebih cenderung menggunakan AC daripada ventilasi alami, fenomena ini secara kuat menunjukkan bahwa kondisi lingkungan termal aktual belum dapat mendukung pengalaman alami yang diharapkan dari model biofilik ini. Model “koneksi visual dengan alam” yang diwujudkan melalui jendela besar menghadap ke ruang hijau di sisi utara memberikan dampak positif bagi pengguna pada tingkat persepsi. Sebagian besar responden menyatakan bahwa cahaya alami membuat ruang terasa lebih nyaman secara psikologis. Temuan ini menunjukkan bahwa ketiga model biofilik yang dievaluasi saling mempengaruhi dalam membentuk kualitas ruang; tanpa strategi desain terintegrasi, penguatan salah satu model (koneksi visual) berpotensi melemahkan realisasi model lainnya (cahaya dinamis dan difus serta perubahan panas dan aliran udara).

8. Persepsi Pengguna dan Temuan

Hasil wawancara terhadap empat karyawan ID yang menggunakan ruang kantor tersebut setiap hari sejalan dengan data teknis. Sebagian besar responden menyatakan bahwa cahaya alami membuat ruang terasa lebih nyaman dan secara psikologis mendukung peningkatan efisiensi kerja, yang mengkonfirmasi “prinsip *biophilic*” yakni bahwa hubungan visual dengan alam memiliki efek menyegarkan. Namun, ada juga beberapa responden yang mengeluhkan bahwa area dekat jendela terasa lebih panas pada siang hari, yang sesuai dengan hasil pengukuran suhu permukaan kaca yang relatif tinggi pada periode yang sama. Keluhan utama kedua adalah kurangnya pencahayaan di area tengah ruang mulai sekitar pukul 15.00, yang sepenuhnya sesuai dengan penurunan tajam intensitas pencahayaan di area tersebut berdasarkan data pengukuran intensitas pencahayaan di lokasi. Fakta bahwa sebagian besar karyawan memilih menggunakan AC daripada membuka jendela menunjukkan bahwa kondisi lingkungan termal aktual telah melampaui batas kenyamanan yang diperkirakan oleh model “variabilitas panas dan aliran udara”. Kesesuaian antara persepsi subjektif

pengguna dan data teknis objektif ini memperkuat validitas kesimpulan penelitian, serta membuktikan bahwa evaluasi kinerja ruang melalui metode triangulasi dapat menghasilkan kesimpulan yang komprehensif dan andal. Temuan ini sejalan dengan penelitian Dwiprasetya dan Mildawani [8], yang menemukan bahwa pengguna kantor sangat menghargai kualitas cahaya alami, menganggapnya sebagai elemen biofilik yang mendukung produktivitas; namun, manfaat tersebut akan berkurang secara signifikan jika kenyamanan termal tidak dikelola dengan baik. Morresi *et al.* [11] juga menekankan bahwa persepsi kenyamanan termal di lingkungan kantor tidak hanya dipengaruhi oleh nilai rata-rata, tetapi juga dipengaruhi secara signifikan oleh kondisi transien; oleh karena itu, titik panas lokal di dekat jendela yang diukur dalam penelitian ini mungkin memiliki dampak yang lebih signifikan terhadap persepsi pengguna daripada yang ditunjukkan oleh suhu ruangan rata-rata. Dengan mempertimbangkan hasil simulasi seperti pada Tabel 7, data pengukuran lapangan, masukan dari pengguna, serta rencana perbaikan yang diusulkan, solusi teknis yang bertujuan untuk mematuhi prinsip desain biofilik sekaligus memenuhi standar kenyamanan fisik di dalam ruang tersebut.

Tabel 7. Usulan Teknis Perbaikan Berbasis Pola *Biophilic*

Permasalahan	Pola <i>Biophilic</i> Terkait	Analisis	Usulan
Zona tengah gelap (58–95 lux, di bawah SNI 300 lux)	<i>Dynamic & Diffuse Light</i>	Gradien iluminasi hingga 239 lux	Penambahan light shelf 60 cm di atas jendela + downlight LED pada zona tengah (target 300 lux)
Zona jendela overlit dan berpotensi glare	<i>Dynamic & Diffuse Light</i>	Iluminasi 188-334 lux; potensi glare dari kaca langsung	Secondary skin kisi-kisi kayu vertikal (rasio 40%) atau kaca film tambahan dengan VLT lebih rendah
Suhu permukaan kaca tinggi (37-39°C, siang hari)	<i>Thermal & Airflow Variability</i>	MRT meningkat di zona jendela	<i>Secondary skin</i> eksterior untuk mengurangi radiasi langsung; optimasi roll blind pada pukul 11.00-15.00
Ventilasi alami tidak dimanfaatkan	<i>Thermal & Airflow Variability</i>	Pengguna memilih AC, jendela jarang dibuka	Jadwal ventilasi alami pagi (07.00-09.00) dan sore (16.00-17.00) saat suhu luar lebih sejuk
Kelembaban tinggi (hingga 68% RH)	<i>Thermal & Airflow Variability</i>	RH di atas kisaran ideal 50-60%	Penambahan dehumidifier pada ruang; kombinasi dengan ventilasi mekanis ringan

PENUTUP

Kesimpulan

Penelitian ini bukan hanya laporan data teknis, tetapi juga berhasil membangun kerangka pengetahuan baru mengenai hubungan antara pola *biophilic* dan kinerja fisik ruang. Temuan penelitian menunjukkan bahwa penerapan jendela besar pada bangunan tropis sebagai wujud dari pola “hubungan visual dengan alam” serta “cahaya dinamis dan tersebar” yang signifikan: di satu sisi, hal ini meningkatkan pengalaman visual dan psikologis pengguna; di sisi lain, menyebabkan distribusi cahaya yang tidak merata dan beban panas radiasi yang tinggi. Kondisi ini bertentangan

dengan prinsip inti dari pola “variabilitas panas dan aliran udara”, yang bertujuan untuk menyediakan variasi lingkungan termal yang sehat. Berdasarkan temuan ini, dapat diajukan kesimpulan ilmiah: penerapan desain biofilik berupa jendela besar pada salah satu sisi fasad gedung perkantoran tropis yang lembab, jika tidak didukung oleh strategi komprehensif untuk mengendalikan pencahayaan dan panas radiasi, belum tentu memberikan kenyamanan visual dan termal yang optimal. Prediksi simulasi untuk skenario perbaikan menunjukkan bahwa penerapan intervensi seperti panel pencahayaan dan dinding luar sekunder berpotensi meningkatkan distribusi pencahayaan di area pusat sebesar 89% hingga 110%, serta menurunkan suhu permukaan kaca hingga 5°C, meskipun pencahayaan buatan tambahan tetap diperlukan untuk memenuhi standar intensitas cahaya minimum. Temuan dan rekomendasi ini memberikan wawasan praktis yang dapat diterapkan pada desain ruang kerja *biophilic* di iklim tropis lembab lainnya, dengan signifikansi yang melampaui cakupan studi kasus tunggal yang dibahas dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Rohman *et al.*, “*Literatur Review: ASPEK PENCAHAYAAN ALAMI PADA cahaya , sedangkan pencahayaan di dalam ruangan merupakan rata-rata manfaatnya dan mudah di dapat . Untuk itu agar dimanfaatkan dengan perbedaan malam maupun siang (Sihombing S B , 2019). Optimalisasi (Pe,*” vol. IX, pp. 229–264, 2025.
- [2] S. Damayanti and W. Setiawan, “Optimalisasi pencahayaan alami dan buatan pada ruang studio dpu pr boyolali,” 2025.
- [3] N. A. Laila, “Analisis Optimalisasi Pencahayaan Alami Pada Perpustakaan Kantor Titip Jepang, Yogyakarta,” 2025.
- [4] ASHRAE. (2017). *ASHRAE Handbook: Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.*
- [5] A. Asojo and F. Hazazi, “*Biophilic Design Strategies and Indoor Environmental Quality: A Case Study,*” *Sustain.*, vol. 17, no. 5, pp. 1–21, 2025, doi: 10.3390/su17051816.
- [6] Lestari, S. Muazir, M. Nurhamsyah, and M. R. Alhamdani, “Pengaruh Penggunaan Shading Device Pada Fasade Terhadap Penerimaan Radiasi Matahari Pada Bangunan Sekolah Di Kota Pontianak,” vol. 2877, pp. 119–126, 2022, doi: Doi : 10.14710/mdl.22.2.2022.119-126.
- [7] N. Ilham ‘Aqil Azmi, “Analisa Pencahayaan Lantai 1 Gedung Baznas Karanganyar Dengan *Software Dialux Evo 13.0,*” *SLAR*, pp. 701–711, 2024.
- [8] J. Dwiprasetya and I. Mildawani, “Preferensi Pengguna terhadap Konsep *Biophilic Design* untuk Meningkatkan Produktivitas pada Bangunan Perkantoran,” *Sade J. Arsitektur, Planol. dan Tek. Sipil*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2023, doi: 10.29303/sade.v2i1.34.
- [9] F. H. S. Damanik, S. Yuania, F. Mas, H. N. Rosyida, N. H. Adiwidjaja, and N. Kharima, “Sosiologi Perubahan Sosial,” *Nat. Rev. | Neurosci.*, 2025, [Online]. Available: www.stardigitalpublishing.com
- [10] J. O. Browning, W.D., Ryan, C.O., Clancy, “*14 Patterns Of Biophilic Design,*” *New York*, 2014.
- [11] N. Morresi, V. Cipollone, S. Casaccia, and G. M. Revel, “*Measuring thermal comfort using wearable technology in transient conditions during office activities,*” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 224, no. October 2023, p. 113897, 2024, doi: 10.1016/j.measurement.2023.113897.
- [12] W. Zhang, J. Calautit, and Y. Wu, “*Novel dynamic thermal comfort prediction in buildings with single-*

- shot vision-based deep learning method and low-cost thermographic imaging,” Build. Environ.*, vol. 285, no. PA, p. 113549, 2025, doi: 10.1016/j.buildenv.2025.113549.
- [13] S. V. Koenigsberger, O.H., Ingersoll, T.G., Mayhew, A. and Szokolay, *annual of Tropical Housing and Building. Part 1: Climatic Design*. 1974.
 - [14] M. D. Corbat *et al.*, “Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size,” vol. 2017, 2017.
 - [15] Erwin Yuniar Rahadian, Windi Dwiastuti, Nanda Annisa Maretia, and Beri Fitrian, “Pengaruh *Secondary Skin* Fasad Bangunan terhadap Kualitas Pencahayaan Alami Ruang Kerja,” *J. Arsit. TERRACOTTA* |, vol. 2, no. 2, pp. 124–135, 2021.
 - [16] P. O. Fanger, *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*. 1970.
 - [17] N. S. Z. Novia Sari Ristianti, Santy Paulla Dewi, Retno Susanti, Rina Kurniati, “View Of Using Biophilic Design To Enhance Urban Parks In Semarang City, Indonesia.pdf,” *Nakhara J. Environ. Des. Plan.*, vol. 23, no. 1, p. 402, 2024.
 - [18] ASHRAE. (2020). ANSI/ASHRAE Standard 55: *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.