



# PENGARUH ELEMEN *BIOPHILIC* DALAM LINGKUNGAN RUANG TERHADAP RESPONS PSIKOLOGIS DAN FISIOLOGIS PENGGUNA: TINJAUAN LITERATUR SISTEMATIS

Tjokorda Istri Sukma Pramudawardani<sup>1</sup>, Andriyanto Wibisono<sup>2</sup>, Etika Vidyarini<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Fakultas Seni Rupa dan Desain, Institut Teknologi Bandung

E-mail: 27124005@mahasiswa.itb.ac.id, and\_wibisono@itb.ac.id, etika.vidyarini@itb.ac.id

## Informasi Naskah:

Diterima:  
17 Januari 2026

Direvisi:  
3 Februari 2026

Disetujui terbit:  
16 Maret 2026

Diterbitkan:  
Cetak:  
29 Maret 2026

Online  
29 Maret 2026

**Abstract** Modern lifestyles require people to spend long periods in enclosed environments under high cognitive demands, leading to mental fatigue, reduced concentration, and prolonged stress. Biophilic design integrates natural elements into built environments to improve wellbeing. However, many studies evaluating biophilic design still rely on subjective perception questionnaires that are prone to bias. This Systematic Literature Review aims to clarify research protocols and map the influence of biophilic elements on physiological responses. Using PRISMA guidelines, literature was collected from Scopus, PubMed, and Google Scholar for the period 2015 – 2026. A total of 20 empirical studies measuring physiological responses using instruments such as HRV, EEG, and Eye - Tracking were analyzed. Results show that vegetation accelerates autonomic nervous system recovery through HRV metrics, while biomimetic patterns help restore brain wave activity. Validity depends on experimental protocols, with ideal exposure durations of 5-15 minutes. In Virtual Reality (VR) simulations, exposure should be limited to prevent virtual sickness that may distort data (3–5 minutes). Pre-stressor tasks are also required to evaluate stress recovery. In conclusion, Biophilic design functions as a measurable, evidence-based approach for restorative environments.

**Keywords:** Biophilic design, Physiological Response, Systematic Literature Review.

**Abstrak** Gaya hidup modern menuntut manusia menghabiskan waktu lama di lingkungan tertutup dengan tuntutan kognitif tinggi, yang dapat menyebabkan kelelahan mental, penurunan konsentrasi, dan stres berkepanjangan. *Biophilic design* mengintegrasikan elemen alam ke dalam lingkungan binaan untuk meningkatkan kesejahteraan. Namun, banyak penelitian yang mengevaluasi *biophilic design* masih mengandalkan kuesioner persepsi subjektif yang rentan terhadap bias. Tinjauan Literatur Sistematis ini bertujuan untuk memperjelas protokol penelitian serta memetakan pengaruh elemen *biophilic* terhadap respons fisiologis. Dengan menggunakan pedoman PRISMA, literatur dikumpulkan dari basis data Scopus, PubMed, dan Google Scholar untuk periode 2015 – 2026. Sebanyak 20 studi empiris yang mengukur respons fisiologis menggunakan instrumen seperti HRV, EEG, dan Eye-Tracking dianalisis. Hasil menunjukkan bahwa vegetasi mempercepat pemulihan sistem saraf otonom melalui metrik HRV, sementara pola biomimetik membantu memulihkan aktivitas gelombang otak. Validitas temuan bergantung pada protokol eksperimen dengan durasi paparan ideal 5-15 menit. Pada simulasi Virtual Reality (VR), paparan perlu dibatasi untuk mencegah virtual sickness yang dapat mendistorsi data (3–5 menit). Tugas pre-stressor juga diperlukan untuk mengevaluasi pemulihan stres. Kesimpulannya, *biophilic design* berfungsi sebagai pendekatan yang terukur berbasis bukti pada lingkungan restoratif.

**Kata Kunci:** *Biophilic design*, Respons Fisiologis, Tinjauan Literatur Sistematis.

## PENDAHULUAN

Dalam kehidupan modern, manusia menghabiskan sebagian besar waktunya di dalam ruang tertutup, baik untuk bekerja, belajar, maupun beraktivitas di ruang komersial dan publik. Durasi tinggal yang panjang di dalam ruang, disertai tuntutan kognitif yang tinggi, sering menimbulkan kelelahan mental, penurunan konsentrasi, hingga stres berkepanjangan. (Klepeis et al., 2001). Kondisi ini menunjukkan bahwa peran desainer saat ini tidak lagi terbatas pada aspek estetika visual atau perhitungan dampak lingkungan semata. Sejak

tahap awal perancangan, desainer menentukan bagaimana sebuah ruang akan berinteraksi dengan penggunanya. Interior yang dirancang dengan mempertimbangkan keberadaan elemen alam terbukti mampu memberikan efek relaksasi dan restoratif. Dengan demikian, desainer tidak hanya berfungsi sebagai pembentuk ruang fisik, tetapi juga sebagai fasilitator yang berkontribusi aktif dalam mendukung kesehatan fisik dan psikologis pengguna.

Sebagai respons terhadap permasalahan kelelahan mental tersebut, pendekatan *biophilic design* hadir

sebagai strategi untuk menghadirkan pengalaman positif alam ke dalam lingkungan buatan. Pendekatan ini bertujuan memperkuat hubungan personal antara manusia dan alam melalui integrasi elemen natural, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam ruang interior. Berdasarkan Stress Recovery Theory (SRT) (Browning & Alvarez, 2019), dan Attention Restoration Theory (ART) (Kaplan & Kaplan, 1990; Kaplan, 1995), paparan elemen alam secara rutin dalam ruang aktivitas memiliki peran yang sangat penting. Sejumlah penelitian menekankan adanya keterkaitan antara paparan terhadap alam dan peningkatan kondisi kesehatan manusia (Aerts et al., 2018; Gür & Kaprol, 2022; Nitu et al., 2022). Efek ini mencakup aspek fisiologis, psikologis, dan kognitif. Menghabiskan waktu di alam, termasuk di sekitar tanaman dan sinar matahari, dikaitkan dengan perasaan lebih tenang, tekanan darah lebih rendah, dan suasana hati yang lebih positif (Romagosa et al., 2015).

Fokus penelitian ini pada metrik respons fisiologis didasarkan pada pertimbangan bahwa evaluasi efektivitas desain restoratif tidak cukup jika hanya mengandalkan kuesioner persepsi yang rentan terhadap bias subjektif. Tubuh manusia memberikan respons terhadap rangsangan lingkungan secara halus namun signifikan, dan data fisiologis memungkinkan respons tersebut diukur secara objektif dan *realtime*. (Tsunetsugu et al., 2013). Parameter fisiologis berperan penting dalam menjelaskan hubungan antara paparan alam dan kesehatan manusia. Keseimbangan sistem saraf otonom serta aktivitas otak dapat diamati melalui instrumen seperti *Heart Rate Variability* (HRV), *Electroencephalogram* (EEG), dan *Eye tracking*. Penggunaan indikator ini memberikan bukti fisiologis yang kuat mengenai kemampuan suatu ruang dalam menciptakan kondisi relaksasi bagi penggunanya. Walaupun berbagai penelitian telah menunjukkan dampak positif elemen alam melalui pengukuran fisiologis, masih terdapat variasi metodologis yang cukup besar dalam studi *biophilic*, sehingga menimbulkan kesenjangan penelitian. Hasil respons fisiologis sering tidak konsisten akibat perbedaan protokol penelitian. Variasi tersebut mencakup durasi paparan stimulus, jenis simulasi lingkungan (lingkungan nyata atau *Virtual Reality*), serta belum adanya pedoman baku mengenai instrumen pengukuran yang paling sesuai untuk mengevaluasi elemen tertentu. Ketidaktepatan mengenai pengaruh konfigurasi simulasi terhadap HRV atau EEG, serta belum adanya standar protokol yang efektif, menyebabkan upaya standarisasi perancangan *biophilic* berbasis bukti masih sulit diwujudkan secara menyeluruh.

Oleh karena itu, *Systematic Literature Review* ini bertujuan untuk memperjelas protokol penelitian dan memetakan kecenderungan pengaruh elemen *biophilic* terhadap respons fisiologis manusia. Melalui analisis terhadap 20 artikel empiris terkini, kajian ini mengevaluasi jenis elemen *biophilic*, metode pengukuran yang digunakan, serta dampak fisiologis yang dihasilkan. Hasil penelitian ini

diharapkan dapat memberikan pedoman ilmiah yang komprehensif bagi desainer, arsitek, dan peneliti dalam merumuskan strategi desain interior yang mampu meningkatkan kenyamanan, kinerja kognitif, dan kesejahteraan pengguna secara terukur.

## TINJUAN PUSTAKA

### *Biophilic design*

*Biophilic design* merupakan konsep yang menekankan hubungan antara manusia, alam, dan lingkungan binaan. Pendekatan ini berfokus pada perancangan ruang yang mempertimbangkan manusia sebagai makhluk biologis dengan memperhatikan sistem tubuh dan pikiran sebagai indikator kesehatan dan kesejahteraan. Konsep *biophilia* pertama kali diperkenalkan oleh Erich Fromm dan kemudian dipopulerkan oleh Edward O. Wilson pada tahun 1984. *Biophilia* merujuk pada kecenderungan alami manusia untuk terhubung kembali dengan alam. Dalam bidang arsitektur dan desain interior, konsep ini berkembang menjadi *biophilic design* yang bertujuan menghadirkan pengalaman alam dalam lingkungan binaan melalui integrasi elemen natural. Alam dalam konteks *biophilic design* mencakup organisme hidup maupun komponen non-hidup ekosistem seperti cahaya matahari, air, dan elemen alam lainnya (Kellert, 2008).

Penerapan *biophilic design* tidak hanya bertujuan meningkatkan estetika ruang, tetapi juga menghasilkan efek restoratif bagi tubuh dan stimulasi indra manusia sehingga meningkatkan kenyamanan ruang secara menyeluruh. Pendekatan ini memiliki fungsi terapeutik karena mampu mengurangi tekanan psikologis dan meningkatkan kualitas hidup pengguna (Al Khatib et al., 2024). Selain itu, *biophilic design* juga berkontribusi pada peningkatan kualitas lingkungan dalam ruang atau Indoor Environmental Quality (IEQ), termasuk kualitas udara, kenyamanan termal, dan kondisi akustik (Asojo & Hazazi, 2025).

Konsep *biophilic design* kemudian dikembangkan menjadi 14 *Patterns of Biophilic design* oleh William D. Browning dkk. (2014), yang mengklasifikasikan elemen *biophilic* ke dalam tiga kategori utama, yaitu *Nature in the Space*, *Natural Analogues*, dan *Nature of the Space*. Ketiga kategori ini menjelaskan bagaimana unsur alam, analogi alami, serta konfigurasi ruang dapat memengaruhi kesehatan, kenyamanan, dan kesejahteraan manusia dalam lingkungan binaan.

### Instrument Respon Fisiologis

Untuk mendapatkan data yang bebas dari bias subjektivitas, evaluasi terhadap kualitas lingkungan restoratif menggunakan berbagai instrumen medis dan teknologi simulasi. Berikut adalah penjelasan masing-masing alat ukur yang digunakan antara lain:

***Heart Rate Variability* (HRV)** merupakan parameter medis yang digunakan untuk memantau aktivitas sistem saraf otonom secara real-time. HRV tidak hanya mengukur jumlah detak jantung, tetapi juga variasi waktu antar denyut jantung. Peningkatan

metrik temporal HRV, terutama *Root Mean Square of Successive Differences* (RMSSD), menunjukkan dominasi sistem saraf parasimpatis yang berkaitan dengan kondisi relaksasi dan pemulihan dari stres. Untuk memperoleh pembacaan yang stabil, perekaman HRV umumnya memerlukan durasi paparan minimal lima menit (Vidyarini et al., 2024).

**Electroencephalogram (EEG)**

Digunakan untuk mengukur aktivitas listrik otak. Instrumen ini membantu mengidentifikasi kondisi kelelahan mental ketika individu melakukan aktivitas dengan beban kognitif tinggi (Ma et al., 2024). Dominasi gelombang alpha menunjukkan kondisi relaks namun tetap waspada, sedangkan gelombang beta berkaitan dengan aktivitas kognitif yang lebih intens (Valentine et al., 2024).

**Eye-Tracking**

Digunakan untuk melacak arah pandangan, titik fokus visual, serta durasi tatapan pengguna di dalam ruang. Alat ini membantu memastikan bahwa respons fisiologis yang muncul benar-benar dipicu oleh interaksi visual dengan elemen *biophilic* tertentu (Lei et al., 2021).

**Virtual Reality (VR) sebagai Media Simulasi**

Sering digunakan untuk merekam pergerakan mata dan fokus visual partisipan secara real-time. Dalam konteks penelitian desain *biophilic*, *Eye tracking* memungkinkan peneliti memvalidasi area atau elemen spesifik yang menarik perhatian pengguna, memastikan bahwa respons fisiologis yang terekam memang terkait dengan fokus visual pada elemen alam tertentu, bukan akibat distraksi dari objek lain (Lei et al., 2021).

Data *Eye tracking* meliputi metrik seperti fixation (lama menatap suatu titik), saccade (pergerakan cepat antara titik fokus), dan gaze pattern (pola pandangan keseluruhan), yang membantu memahami bagaimana pengguna menavigasi ruang dan merespons rangsangan visual.

**METODOLOGI PENELITIAN**

Dalam penelitian ini, proses seleksi literatur dilakukan dengan mengidentifikasi artikel dari berbagai basis data ilmiah bereputasi menggunakan kata kunci yang berkaitan dengan *biophilic design* dan respons fisiologis. Artikel kemudian disaring berdasarkan beberapa kriteria inklusi, yaitu:

1. Membahas hubungan antara elemen *biophilic* dan respons fisiologis pengguna,
2. Diterbitkan pada rentang tahun 2015 - 2026
3. Terindeks dalam basis data Scopus, PubMed, dan Google Scholar
4. Merupakan penelitian empiris yang melaporkan metode dan hasil pengukuran secara jelas,
5. Melibatkan partisipan manusia yang sehat dalam lingkungan eksperimen, simulasi, maupun kondisi nyata
6. Mengukur respons fisiologis secara objektif menggunakan perangkat medis yang telah tervalidasi.

Berdasarkan proses seleksi, 20 artikel yang memenuhi kriteria dipilih untuk dianalisis. Data dikodekan berdasarkan parameter utama, yaitu jenis

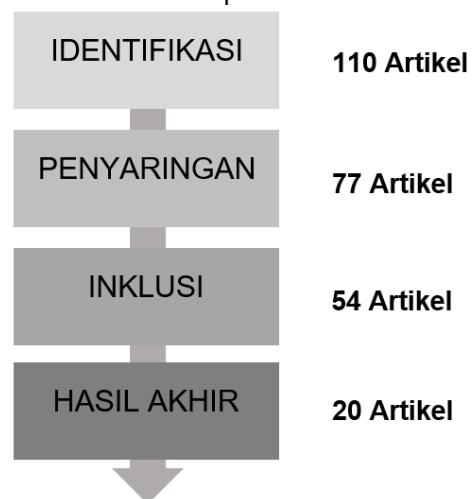
elemen *biophilic*, konteks eksperimen, durasi paparan, metode pengukuran fisiologis, dan luaran psikologis, lalu disintesis secara sistematis. Tinjauan ini mengikuti protokol PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) yang meliputi identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, dan penentuan studi akhir. Pencarian literatur dilakukan melalui Scopus, PubMed, dan Google Scholar menggunakan kombinasi kata kunci relevan. Tabel 1 menampilkan contoh string pencarian pada tiap basis data.

**Tabel 1.** String Pencarian pada Basis Data Akademik

Basis Data	String Pencarian
Scopus	TITLE-ABS-KEY (("biophilic design" OR "biophilia" OR "nature-based design") AND ("physiological" OR "psychological" OR "behavior") AND ("wellbeing" OR "stress reduction" OR "restoration" ))
PubMed	Title/Abstract (("biophilic design" OR "biophilia" OR "nature-based design") AND ("physiological" OR "psychological" OR "behavior") AND ("wellbeing" OR "stress reduction" OR "restoration" ))
Google Scholar	All abstract all title "biophilic design" OR "biophilia" OR "nature-based design" AND "physiological" OR "psychological" OR "behavior") AND ("wellbeing" OR "stress reduction" OR "restoration"

Proses pencarian dan seleksi literatur dilakukan secara bertahap. Pada tahap identifikasi awal, pencarian artikel dilakukan melalui berbagai basis data akademik menggunakan kata kunci yang berkaitan dengan *biophilic design*, lingkungan interior, dan pengalaman pengguna, sehingga diperoleh 110 artikel awal. Selanjutnya dilakukan tahap penyaringan dengan menghapus data duplikat serta meninjau judul dan abstrak untuk memastikan relevansi penelitian.

Proses ini menghasilkan 77 artikel yang memenuhi kriteria awal. Artikel tersebut kemudian memasuki tahap inklusi, yaitu peninjauan penuh terhadap naskah untuk memastikan bahwa penelitian merupakan studi empiris yang membahas paparan elemen *biophilic* dalam lingkungan interior. Berdasarkan tahap ini, diperoleh 54 artikel yang memenuhi kriteria dasar penelitian.



Selanjutnya dilakukan tahap penilaian kualitas (*quality assessment*) untuk menyeleksi artikel dengan standar metodologi yang tinggi. Pada tahap ini, penelitian disaring secara ketat untuk memastikan bahwa studi melibatkan partisipan sehat dan menggunakan pengukuran respons fisiologis secara objektif, seperti HRV, EEG, atau *Eye-Tracking*. Artikel yang tidak memenuhi kriteria tersebut dieliminasi, termasuk studi yang melibatkan responden klinis. Proses seleksi akhir ini menghasilkan 20 artikel yang dinilai paling relevan, dengan karakteristik responden non-klinis, serta memiliki kredibilitas data fisiologis yang kuat untuk dianalisis lebih lanjut dalam tinjauan ini.

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Sintesis data dari 20 artikel yang telah lolos seleksi akhir menghasilkan gambaran menyeluruh mengenai pengaruh elemen *biophilic* terhadap respons manusia. Seluruh artikel yang dikaji secara khusus menekankan pengukuran respons fisiologis secara objektif menggunakan instrumen medis, sehingga efek restoratif ruang tidak hanya dinilai melalui kuesioner persepsi subjektif.

Karakteristik masing-masing penelitian meliputi jenis elemen *biophilic*, konteks simulasi, durasi paparan, metrik fisiologis yang digunakan, serta luaran kognitif dan psikologis dirangkum secara sistematis dalam Tabel 2 di bawah ini.

**Tabel 2.** Penelitian – Penelitian Terkait

Penulis (Tahun)	Elemen <i>Biophilic</i>	Setting Simulasi	Durasi Paparan	Metrik Fisiologis
Yin et al. (2018)	Indoor Plants, Bamboo Floor, View of Green Space, Views of River	Ruang Nyata & Virtual	5 menit	BP, HRV, SCL
Yin et al. (2020)	Indoor Plants, Green Space	Virtual	6 menit	BP, HRV, SCL
Mc Sweeney et al. (2019)	Indoor Plants, Natural Light, View of Green Space, Painting	Ruang Nyata	5 menit	HRV
Lei et al. (2021)	Green Wall	Lingkungan Nyata & Virtual	5 menit	HRV, SCL, EEG, <i>Eye tracking</i>
Yeom et al. (2021)	Green Wall	Virtual	6 menit	EEG, HR, EDA
Li et al. (2022)	Indoor Plants	Ruang Nyata	60 menit	HRV
You et al. (2023)	Indoor Plants, Natural Light, Natural Material Views of Green Space	Virtual	3 menit	BP, HRV, HR, SCL
Rhee et al. (2023)	Indoor Plants, View of sky	Ruang Nyata	5 Menit	EEG
Zhang et al. (2023)	Indoor Plants, View of Green Space	Virtual	15 menit	EEG
Valen et al. (2024)	Natural Material, Design Patterns, Organised Complexity, Color, Realistic Retection of Gravity	Ruang Nyata	18 menit	EEG
Kumpulainen et al. (2024)	Views of Green Space	Virtual	10 menit	HRV
Ma et al. (2024)	Green Wall	Ruang Nyata	15 menit	EEG
Kumpulainen et al. (2024)	Natural Sound scape	Ruang Nyata	10 menit	HRV
Sedghi anshir et al. (2024)	Green Wall	Virtual	7 menit	HRV, EDA, HR
Yao et al. (2024)	Views of Green Space	Ruang Nyata	10 menit	HR, EEG, BP
Li Mengqi et al. (2025)	Biomimicry, Curved	Virtual	4 menit	HRV, HR, SCL
Fukumoto et al. (2024)	Indoor Plants	Ruang Nyata	5 menit	HRV, EEG
Latini et al. (2024)	Plants, Natural Soundsc apeView of Green Space	Virtual	6 menit	EDA, Pulse Rate, Skin Temperature
Serra et al. (2025)	Indoor Plants	Ruang Nyata & Virtual	5 menit	HRV

<b>Sedghi khans hir et al. (2025)</b>	Green Wall	Ruang Nyata & Virtual	7 menit	HRV, EDA, Skin Temperature HR
---------------------------------------	------------	-----------------------	---------	-------------------------------

Berdasarkan hasil ekstraksi data pada Tabel 2 di atas, berbagai temuan metodologis dan luaran dari 20 literatur terpilih kemudian disintesis dan dikelompokkan ke dalam enam tema pembahasan utama. Keenam tema ini disusun secara sistematis untuk menjelaskan alur eksperimen secara menyeluruh, mulai dari karakteristik elemen desain yang diteliti, konteks dan protokol pengujian, metode serta instrumen pengukuran, hingga hasil akhir berupa respons psikologis dan fisiologis. Uraian lebih lanjut mengenai masing-masing tema dijelaskan pada bagian berikut.

### Variasi Intervensi Elemen *Biophilic*

Tinjauan terhadap 20 artikel menunjukkan bahwa elemen *biophilic* yang diterapkan pada ruang interior sangat beragam, mulai dari intervensi visual langsung, elemen analog yang meniru alam, hingga pendekatan multi-sensorik. Vegetasi fisik, seperti tanaman dalam ruang (*indoor plants*) dan dinding hijau (*green wall*), masih menjadi intervensi utama dalam banyak studi, terbukti memicu respons relaksasi yang dapat diukur secara klinis melalui penurunan tekanan darah dan peningkatan stabilitas metrik HRV, yang menandakan pergeseran fungsi tubuh menuju kondisi istirahat melalui aktivasi sistem saraf parasimpatis (Yin et al., 2018).

Selain vegetasi dalam ruang, keberadaan pemandangan ruang hijau dari luar jendela juga memberikan jeda visual yang signifikan, membantu mengurangi ketegangan mata dan menurunkan kelelahan akibat durasi fokus yang panjang, khususnya bagi individu yang bekerja atau belajar di depan layar (Yao et al., 2024).

Namun, efek restoratif tidak semata-mata bergantung pada tanaman hidup. Penggunaan material biomimetik dan elemen analog, seperti kayu alami, pola desain yang meniru bentuk alam, serta struktur arsitektural dengan kompleksitas menyerupai alam, juga menunjukkan kemampuan pemulihan yang signifikan. Tekstur visual dan sensasi sentuhan dari material ini mampu mendukung pemulihan aktivitas gelombang otak tanpa menambah beban kognitif pengguna (Valentine et al., 2024).

Temuan ini memberikan strategi desain yang relevan, terutama bagi interior komersial dengan kepadatan tinggi, seperti kedai kopi atau ruang kerja bersama, di mana penggunaan tanaman hidup dalam jumlah besar sering terbatas oleh kebutuhan perawatan, minimnya pencahayaan alami, serta biaya operasional. Integrasi material analog menjadi alternatif yang lebih praktis namun tetap efektif dalam memberikan manfaat psikologis.

Selain itu, literatur juga menunjukkan adanya pergeseran menuju pendekatan stimulasi yang lebih menyeluruh melalui integrasi berbagai indera. Penggabungan elemen visual dengan lanskap suara alam, seperti suara air mengalir, hembusan angin,

atau kicauan burung, terbukti meningkatkan persepsi kenyamanan dan rasa menyenangkan bagi pengguna ruang (Latini et al., 2024). Suara alam tidak hanya memberikan efek relaksasi tambahan, tetapi juga berfungsi sebagai *sound masking* yang meredam kebisingan latar dari aktivitas sekitar. Integrasi multi-sensorik ini pada akhirnya mendukung konsentrasi pengguna, mencegah kelelahan mental, dan memperkuat efek restoratif secara menyeluruh, sehingga ruang interior dapat menjadi lingkungan yang lebih nyaman, produktif, dan sehat secara psikologis.

### Setting Lingkungan Eksperimen dan Teknologi Simulasi

Ketepatan pengukuran fisiologis, seperti variasi detak jantung dan aktivitas gelombang otak, sangat peka terhadap pengaruh variabel eksternal. Oleh karena itu, lokasi pengujian dan medium yang digunakan untuk menampilkan simulasi desain menjadi aspek metodologis penting.

Pengujian di laboratorium masih dominan dalam literatur karena memungkinkan kontrol ketat terhadap variabel lingkungan seperti suhu, pencahayaan, dan kebisingan, sehingga perubahan aktivitas gelombang otak maupun sistem saraf otonom partisipan benar-benar disebabkan oleh paparan elemen *biophilic* (Rhee et al., 2023). Namun, laboratorium memiliki keterbatasan utama berupa rendahnya realisme spasial dibandingkan pengalaman di kondisi nyata.

Sebagai jawaban, literatur terbaru mulai menekankan studi lapangan langsung di lingkungan nyata, seperti ruang kelas, kantor, atau ruang komersial, tempat individu beraktivitas dalam waktu lama (Fukumoto et al., 2024).

Pendekatan ini meningkatkan validitas ekologis karena merepresentasikan kondisi sesungguhnya di mana aktivitas kognitif sehari-hari menimbulkan kelelahan mental, misalnya bekerja di depan komputer atau belajar dalam durasi panjang. Dengan menempatkan intervensi *biophilic* di lokasi asli, efektivitas elemen alam dalam mengurangi stres dapat dinilai lebih realistis, memperkuat bukti bahwa desain restoratif relevan dan fungsional di ruang publik.

Dari sisi media simulasi, literatur membandingkan penggunaan elemen fisik nyata dengan teknologi Virtual Reality (VR). Perkembangan terbaru menunjukkan VR tidak lagi terbatas pada laboratorium, tetapi mulai diterapkan di lingkungan nyata. Beberapa penelitian menempatkan partisipan di ruang fisik mereka, misalnya di meja kerja, sambil mendapatkan intervensi melalui headset VR yang menampilkan elemen *biophilic* virtual (Serra et al., 2025).

Pendekatan ini menjembatani interaksi antara dunia fisik dan virtual, memungkinkan evaluasi dampak psikofisiologis berbagai konfigurasi elemen restoratif tanpa perlu perubahan fisik atau biaya konstruksi. Meskipun kesan sensoriknya belum sepenuhnya setara dengan lingkungan nyata, simulasi virtual dalam konteks autentik terbukti valid dan efektif

memicu respons pemulihan stres dasar pada sistem saraf pengguna.

### Metode Pengukuran Fisiologis

Untuk mengurangi bias subjektivitas yang muncul pada kuesioner persepsi mandiri (*self-report*), efektivitas restoratif desain *biophilic* dievaluasi menggunakan instrumen klinis berpresisi tinggi. Pendekatan ini memastikan kenyamanan yang dialami peserta merupakan respons nyata dari tubuh, bukan sekadar sugesti visual. Dalam pengukuran fisiologis, Heart Rate Variability (HRV) muncul sebagai indikator paling sensitif untuk memantau dinamika sistem saraf otonom (Kumpulainen et al., 2024). Parameter temporal HRV, khususnya *Root Mean Square of Successive Differences* (RMSSD), mencerminkan aktivitas saraf parasimpatis secara instan kenaikan nilai RMSSD menandai fase relaksasi dan pemulihan stres, menunjukkan bahwa lingkungan interior mendukung kesehatan.

Sebagai pelengkap pengukuran jantung, Electroencephalogram (EEG) digunakan untuk memetakan aktivitas gelombang otak secara spesifik. EEG memungkinkan peneliti melacak gelombang Alpha, yang terkait kondisi rileks namun waspada, dan gelombang Beta, yang berhubungan dengan pemrosesan kognitif aktif. Parameter ini penting untuk menilai konsentrasi dan batas kelelahan mental, terutama bagi pengguna yang melakukan aktivitas kognitif berat, seperti belajar atau bekerja (Ma et al., 2024). Pola gelombang otak yang lebih stabil saat terpapar elemen alam membuktikan efektivitas desain *biophilic* dalam mengurangi risiko mental *burnout*.

Validitas data diperkuat dengan integrasi berbagai metrik tambahan. *Skin Conductance Level* (SCL) dan *Electrodermal Activity* (EDA) memberikan informasi tentang tingkat keterbangkitan emosional melalui aktivitas kelenjar keringat yang dipicu oleh stres saraf simpatis. *Eye tracking* digunakan untuk memvalidasi arah perhatian peserta, memastikan respons fisiologis yang terekam benar-benar dipicu fokus pada elemen *biophilic* tertentu (Lei et al., 2021). Kombinasi instrumen ini membentuk sistem pengukuran objektif yang saling melengkapi, secara empiris membuktikan bahwa desain *biophilic* dapat memberikan dampak menyeluruh terhadap kondisi fisik dan mental manusia secara bersamaan.

### Durasi dan Protokol Paparan Stimulus

Merancang protokol pengukuran yang akurat, khususnya terkait durasi pemaparan stimulus, merupakan tantangan metodologis penting dalam penelitian lingkungan restoratif. Tinjauan literatur menunjukkan bahwa durasi paparan terhadap elemen *biophilic* sangat bervariasi, sesuai tujuan eksperimen. Beberapa studi menggunakan paparan singkat sekitar 5 menit untuk menangkap respons fisiologis awal atau baseline saat subjek memasuki lingkungan baru (McSweeney et al., 2019), sementara penelitian lain mengevaluasi paparan jangka panjang hingga 60 menit untuk menilai daya tahan efek restoratif terhadap kelelahan kerja kronis (Li et al., 2022).

Variasi ini menekankan perlunya menentukan durasi yang efektif agar stimulus alam dapat diproses oleh sistem saraf tanpa menimbulkan kejenuhan sensorik.

Dalam konteks validitas data medis, durasi perekaman menjadi faktor penentu akurasi instrumen. Untuk merekam fungsi saraf otonom secara objektif tanpa membuat subjek jenuh atau kehilangan konsentrasi, evaluasi metrik fisiologis jangka pendek, terutama Heart Rate Variability (HRV), mensyaratkan perekaman minimal 5 menit (Vidyarani et al., 2024). Durasi ini dianggap standar klinis untuk memperoleh pembacaan stabil aktivitas saraf parasimpatis, indikator utama relaksasi dan pemulihan stres. Perekaman terlalu singkat berisiko merekam fluktuasi detak jantung akibat adaptasi awal, bukan efek pemulihan dari elemen *biophilic*.

Untuk penelitian dengan medium simulasi Virtual Reality (VR), pengaturan durasi paparan lebih sensitif. Literatur menyarankan durasi relatif singkat, sekitar 3 – 15 menit, guna menangkap perubahan atensi, fokus, dan kreativitas secara optimal. Paparan VR sering dibatasi hingga 3 menit per adegan untuk mencegah *virtual sickness* (mual atau pusing) yang dapat mengganggu akurasi data indikator stres. Pemberian orientasi VR di awal eksperimen serta jaminan bahwa partisipan dapat menghentikan pengujian kapan saja jika merasa tidak nyaman menjadi langkah krusial (You et al., 2023). Dengan demikian, optimasi durasi paparan memastikan bahwa data fisiologis mencerminkan kualitas ruang, bukan reaksi negatif terhadap perangkat simulasi.

### Penggunaan Pre – Stressor

Salah satu temuan metodologis yang paling penting dan dapat menentukan validitas penelitian ruang *biophilic* adalah penggunaan *pre-stressor*. Dalam psikologi lingkungan, untuk mengetahui kapasitas relaksasi sebuah desain interior secara objektif dan terukur, subjek eksperimen tidak dapat diuji dalam kondisi netral. Subjek umumnya harus dikondisikan ke dalam keadaan lelah secara mental atau stres secara fisiologis terlebih dahulu melalui serangkaian tugas kognitif yang menuntut konsentrasi tinggi. Protokol pemicu stres ini berfungsi untuk menciptakan titik terendah pada kondisi psikofisiologis subjek. Tanpa adanya kondisi terbebani di awal, peneliti tidak akan memiliki standar komparasi untuk mengukur sejauh mana sebuah elemen ruang mampu menurunkan tingkat stres tersebut kembali ke titik normal.

Penerapan protokol ini secara langsung memvalidasi *Stress Recovery Theory* (SRT) dan *Attention Restoration Theory* (ART). Secara teoritis, percepatan pemulihan stres dan pengembalian kapasitas atensi hanya dapat dikuantifikasi dengan jelas jika sistem saraf subjek berada dalam kondisi keterbangkitan (*arousal*) yang tinggi sejak awal eksperimen. Mayoritas penelitian yang sukses menangkap data pemulihan detak jantung (HRV), aktivitas kelistrikan otak (EEG), hingga konduktansi kulit menggunakan tugas pemicu stres seperti tes matematika mental cepat (*mental arithmetic*) atau

tugas memori jangka pendek sebagai langkah awal sebelum subjek dipaparkan pada elemen *biophilic* (Sedghikhanshir et al., 2025). Melalui fase stres ini, peneliti dapat melihat secara presisi seberapa cepat sistem saraf parasimpatis subjek bereaksi untuk menenangkan tubuh saat melihat vegetasi atau mendengar suara alam setelah mengalami kelelahan kognitif.

Pemilihan tugas kognitif yang menuntut ini bukan hanya untuk kebutuhan laboratorium, tetapi juga untuk mensimulasikan kondisi nyata yang dialami pengguna ruang. Di dunia nyata, individu yang mendatangi kedai kopi, perpustakaan, atau kantor sering kali datang dalam kondisi mental yang sudah terbebani akibat durasi kerja yang panjang atau tugas belajar yang sulit. Dengan mereplikasi kelelahan mental ini melalui *pre-stressor*, penelitian ini membuktikan secara empiris bahwa desain *biophilic* bukan hanya berfungsi sebagai dekorasi, melainkan berperan aktif sebagai mediator restoratif yang mampu memulihkan kondisi psikologis maupun fisiologis pengguna ruang. Keberhasilan pemulihan setelah pemberian stres ini menunjukkan bahwa penerapan elemen alam di ruang publik benar-benar dapat membantu meningkatkan kesejahteraan manusia secara biologis.

#### **Variabilitas Respons *Biophilic Design***

Hubungan yang sangat kuat antara data fisiologis dan persepsi psikologis menunjukkan bahwa desain *biophilic* berperan penting dalam membantu meningkatkan ketahanan mental pengguna ruang. Sebagian besar literatur secara konsisten melaporkan bahwa paparan elemen alam mampu mengaktifkan mekanisme Stress Recovery Theory (SRT) secara optimal. Data fisiologis memperlihatkan bahwa ketika individu terpapar elemen *biophilic*, terjadi peningkatan aktivitas sistem saraf parasimpatis yang terekam melalui metrik *Heart Rate Variability* (HRV). Kenaikan nilai HRV tersebut berhubungan langsung dengan penurunan tingkat kecemasan psikologis yang dipicu oleh tekanan pekerjaan (Yin et al., 2020). Selain itu, integrasi elemen *biophilic* juga mendukung berjalannya Attention Restoration Theory (ART). Analisis gelombang otak melalui EEG menunjukkan adanya kondisi yang lebih stabil, yang menandakan bahwa elemen visual alam dapat menciptakan keadaan *soft fascination* sehingga membantu memulihkan kemampuan fokus yang sebelumnya menurun akibat beban kognitif pada tahap awal eksperimen. (Zhang et al., 2023).

Namun, sintesis mendalam terhadap 20 artikel juga mengungkap adanya variasi hasil yang dipengaruhi oleh faktor teknis dan situasional. Perbedaan pertama berkaitan dengan efektivitas media simulasi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa respons fisiologis, khususnya HRV, pada lingkungan fisik nyata cenderung lebih kuat dan stabil dibandingkan simulasi Virtual Reality (VR) (Serra et al., 2025). Temuan ini mengindikasikan bahwa apabila kualitas resolusi visual VR rendah atau tidak didukung rangsangan sensorik tambahan seperti aliran udara atau aroma alami sistem saraf manusia

tidak sepenuhnya merasakan kehadiran lingkungan restoratif, sehingga penurunan stres yang terukur menjadi kurang optimal.

Perbedaan kedua berkaitan dengan durasi paparan dan fenomena adaptasi sensorik. Paparan dalam durasi singkat, sekitar 5 – 15 menit, terbukti efektif dalam memulihkan stres. Sebaliknya, penelitian dengan durasi paparan yang terlalu panjang atau penggunaan VR yang melampaui batas toleransi justru menunjukkan anomali data fisiologis (Li et al., 2022). Dalam kondisi tersebut, justru paparan berlebih dapat memicu kelelahan visual maupun *virtual sickness*, yang secara tidak terduga meningkatkan detak jantung dan mendistorsi data kenyamanan. (You et al., 2023).

Selain itu, terdapat pula perbedaan dampak berdasarkan jenis elemen *biophilic* yang digunakan. Vegetasi hidup terbukti lebih dominan dalam memicu pemulihan stres sesuai mekanisme SRT, sedangkan elemen analog seperti material kayu atau bentuk organik melengkung lebih efektif dalam meningkatkan performa kognitif dan kreativitas (Li Mengqi et al. (2025) (Valentine et al., 2024). Variasi temuan ini menegaskan bahwa desain *biophilic* bukanlah solusi tunggal yang bersifat universal tingkat efektivitasnya sangat dipengaruhi oleh kualitas media yang digunakan, ketepatan durasi paparan, serta kesesuaian jenis elemen dengan aktivitas pengguna ruang.

#### **KESIMPULAN**

Secara keseluruhan, tinjauan literatur ini menegaskan bahwa desain *biophilic* bukan sekadar hiasan visual, melainkan intervensi ruang yang efektif untuk memulihkan kondisi psikologis dan fisiologis manusia secara terukur. Elemen *biophilic* yang diterapkan sangat beragam, mulai dari vegetasi fisik seperti tanaman dalam ruangan atau dinding hijau yang mampu menenangkan melalui aktivasi saraf parasimpatis, hingga elemen analog. Untuk ruang komersial yang padat dan memiliki keterbatasan perawatan atau cahaya alami, penggunaan material analog yang terinspirasi alam misalnya kayu, pola biomimetik, atau desain organik menjadi solusi praktis yang tetap efektif dalam mendukung pemulihan gelombang otak tanpa menambah beban kognitif. Saat ini, tren desain juga bergerak ke pendekatan multisensorik, dengan menggabungkan elemen visual dan lanskap suara alam, seperti gemericik air atau kicau burung, yang tidak hanya menambah kenyamanan tetapi juga membantu meredam kebisingan latar.

Untuk menilai efektivitas ruang secara objektif, peneliti menggunakan instrumen pengukuran klinis berpresisi tinggi. Metrik seperti Heart Rate Variability (HRV), khususnya parameter RMSSD, dipakai untuk melacak tingkat relaksasi; EEG digunakan untuk memantau aktivitas gelombang otak dan tanda kelelahan mental; sementara Skin Conductance Level (SCL), Electrodermal Activity (EDA), dan pelacakan mata membantu melihat reaksi tubuh secara menyeluruh. Namun, validitas pengukuran ini sangat bergantung pada pra-stres (*pre-stressor*).

Partisipan terlebih dahulu diberi tugas kognitif berat untuk menimbulkan lelah mental atau stres, meniru kondisi nyata pekerja atau pelajar yang datang ke ruang dalam keadaan terbebani. Dengan demikian, peneliti memiliki baseline yang jelas untuk mengukur seberapa efektif elemen ruang menurunkan stres dan memulihkan fokus.

Efektivitas desain *biophilic* ternyata tidak sama untuk semua kondisi, melainkan dipengaruhi oleh lingkungan eksperimen, media simulasi, dan durasi paparan. Meski laboratorium memberi kontrol variabel yang baik, penelitian modern lebih menekankan studi lapangan atau penggunaan VR di lingkungan nyata, seperti meja kerja, agar validitas ekologis meningkat. Hasil literatur menunjukkan bahwa lingkungan fisik nyata masih lebih efektif dalam memicu pemulihan saraf dibanding VR, yang berisiko menimbulkan virtual sickness (mual, pusing) jika durasinya terlalu lama. Durasi paparan menjadi sangat penting; umumnya 5–15 menit efektif untuk pemulihan, sedangkan VR disarankan dibatasi sekitar 3 menit per adegan. Variasi respons juga terlihat dari jenis elemen: vegetasi hidup lebih dominan dalam menurunkan stres fisik, sedangkan elemen analog lebih mendukung kreativitas dan kinerja kognitif.

Secara keseluruhan, sintesis ini menegaskan bahwa keberhasilan desain *biophilic* tidak hanya ditentukan oleh keberadaan elemen alam itu sendiri, tetapi juga oleh kesesuaian antara jenis elemen, konteks ruang, serta kondisi pengguna, sehingga pendekatan desain yang kontekstual dan berbasis bukti menjadi kunci dalam menghasilkan ruang yang benar-benar restoratif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Fukumoto, H., Shimoda, M., & Hoshino, S. (2024). The effects of different designs of indoor *biophilic* greening on psychological and physiological responses and cognitive performance of office workers. *PLOS ONE*, *19*(7), e0307934. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307934>
- Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P., ... & Engelmann, W. H. (2001). *The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants*. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, *11*(3), 231-252.
- Kumpulainen, S., Esmailzadeh, S., & Pesola, A. J. (2024). Assessing the well-being benefits of VR nature experiences on group: Heart rate variability insights from a cross-over study. *Journal of Environmental Psychology*, *87*, 102366. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2024.102366>
- Latini, A., Torresin, S., Oberman, T., Di Giuseppe, E., Aletta, F., Kang, J., & D'Orazio, M. (2024). Virtual reality application to explore indoor soundscape and physiological responses to audio-visual *biophilic* design interventions. *Journal of Building Engineering*, *89*, 108947. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108947>
- Lei, Q., Yuan, C., & Lau, S. S. Y. (2021). A quantitative study for indoor workplace *biophilic* design to improve health and productivity performance. *Journal of Cleaner Production*, *298*, 129168. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129168>
- Li, Z., Zhang, W., Wang, L., Liu, H., & Liu, H. (2022). Regulating effects of the *biophilic* environment with strawberry plants on psychophysiological health and cognitive performance in small spaces. *Building and Environment*, *224*, 108801. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108801>
- Ma, X., Du, M., Deng, P., Zhou, T., & Hong, B. (2024). Effects of green walls on thermal perception and cognitive performance: An indoor study. *Building and Environment*, *287*, 111180. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111180>
- McSweeney, J., Johnson, S., Sherry, S., Singleton, J., & Rainham, D. (2019). Indoor nature exposure and influence on physiological stress markers. *International Journal of Environmental Health Research*. <https://doi.org/10.1080/09603123.2019.1679357>
- Mengqi, L., Jie, Y., & Leiqing, X. (2024). Protective and restorative effects of *biophilic* design in high school indoor environments on stress and cognitive function. *International Journal of Analytical Methods in Architecture*, *2024*, 8696488. <https://doi.org/10.1155/ina/8696488>
- Rhee, J. H., Schermer, B., Han, G., Park, S. Y., & Lee, K. H. (2023). Effects of nature on restorative and cognitive benefits in indoor environment. *Scientific Reports*, *13*, 13127. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40408-x>
- Sedghikhanshir, A., Chen, Y., Zhu, Y., Beck, M. R., & Jafari, A. (2025). Comparing the restoration effect and stress recovery in real and virtual environments with a green wall. *Sustainability*, *17*(6), 2421. <https://doi.org/10.3390/su17062421>
- Serra, H., Zavattaro, C., Eid, M., Farina, P., Abbatescianna, D., Cirillo, E., Gammeri, R., Celi, L., Scariot, V., & Ricci, R. (2025). *Biophilic* interventions in real and virtual environments reduce stress during cognitively demanding tasks. *Scientific Reports*, *15*, 23224. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-23224-3>
- Tsunetsugu, Y., Park, B. J., & Miyazaki, Y. (2013). *Trends in research related to "Shinrin-yoku" (taking in the forest atmosphere or forest bathing) in Japan*. *Environmental Health and Preventive Medicine*, *15*(1), 27-37.
- Valentine, C., Steffert, T., Mitcheltree, H., & Steemers, K. (2024). Architectural neuroimmunology: A pilot study examining the impact of *biophilic* architectural design on neuroinflammation. *Buildings*, *14*(5), 1292. <https://doi.org/10.3390/buildings14051292>
- Vidyarini, E., Riyadi, S., & Pasaribu, Y. M. (2024). Heart rate variability in *biophilic* design: A systematic literature review. *Productum: Jurnal Desain Produk*, *7*(2). <https://doi.org/10.24821/productum.v7i2.14237>
- Yao, T., Lin, W., & Bao, Z. (2024). Natural or balanced? The physiological and psychological benefits of window views. *Sustainable Cities and Society*, *109*, 105293. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105293>
- Yin, J., MacNaughton, P., Allen, J. G., & Spengler, J. D. (2018). Physiological and cognitive performance of exposure to *biophilic* indoor environment. *Building and Environment*, *132*, 255–262. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.006>
- Yin, J., Yuan, J., Arfaei, N., Catalano, P. J., Allen, J. G., & Spengler, J. D. (2020). Effects of *biophilic* indoor environment on stress and anxiety recovery. *Environment International*, *136*, 105427. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105427>

- You, J., Wen, X., Liu, L., Yin, J., & Ji, J. S. (2023). *Biophilic classroom environments on stress and cognitive performance: A randomized crossover study in VR*. *PLOS ONE*, 18(10), e0291355. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0291355>
- Zhang, G., Wu, G., & Yang, J. (2023). The restorative effects of short-term exposure to nature in immersive virtual environments. *Journal of Environmental Management*, 325, 116830. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116830>