

NEUROSAINS DAN DESAIN BIOPHILIC: MEMAHAMI RESPON POSITIF TERHADAP ELEMEN ALAM DALAM RUANG

Jarot Wahyono

Dosen Prodi Arsitektur, Fak. Teknik Sipil dan Perencanaan, ITN Malang
e-mail: jarotwahyono@lecturer.itn.ac.id

ABSTRAK

Desain biofilik dalam arsitektur telah terbukti memberikan pengaruh yang berarti terhadap aktivitas neurologis manusia. Penelitian ini bertujuan untuk memperkuat dasar ilmiah dari manfaat penerapan elemen biofilik melalui pendekatan neurosains, sehingga implementasinya tidak hanya berdasarkan persepsi estetika atau intuisi. Sintesis konseptual dilakukan untuk mengkaji keterkaitan antara prinsip biofilik dan proses biologis dalam sistem saraf manusia. Dari hasil analisis, ditemukan tiga mekanisme utama yang menjelaskan respons positif terhadap elemen Nature in the Space, yaitu: (1) dampak pencahayaan alami terhadap kualitas tidur melalui pengaturan ritme sirkadian, (2) pengaruh visualisasi elemen alam dalam mengaktifkan pusat perhatian dan emosi di otak, serta (3) kontribusi stimulasi visual alam terhadap pengurangan stres dan percepatan pemulihan mental. Efektivitas elemen-elemen ini berkaitan erat dengan respon biologis yang melibatkan otak, sistem saraf, serta hormon tubuh manusia. Temuan ini memperkaya pemahaman terhadap manfaat biofilik secara ilmiah, khususnya dari perspektif neurosains, sehingga validitasnya tidak hanya ditopang oleh eksperimen atau pendekatan subjektif semata, tetapi juga oleh bukti-bukti empiris berbasis biologi.

Kata kunci: Biophilic, Neuroscience, Integrasi

ABSTRACT

Biophilic design in architecture has been shown to have a strong effect on human brain activity (Ulrich, 1984). This study aims to support the scientific understanding of the benefits of Biophilic elements by using a Neuroscience approach, so that their use is not only based on aesthetic or intuitive ideas. Conceptual synthesis is conducted to examine the relationship between biophilic principles and biological processes in the human nervous system. The review identified three main ways that Nature in the Space elements create positive effects: (1) the impact of natural light on sleep quality through circadian rhythm regulation, (2) the influence of natural views on how the brain responds to its environment, and (3) the role of natural scenery in reducing stress and helping mental recovery. The effectiveness of these elements is linked to biological responses involving the brain, nerves, and hormones in the body. These findings help to explain the benefits of biophilic design in a scientific way, with support from neuroscience, not just from experiments or personal impressions.

Keywords: Biophilic, Neuroscience, Integration

1. PENDAHULUAN

Terdapat hubungan yang erat antara Manusia dan alam yang terikat dan tidak terpisahkan. Dalam konteks arsitektur, keterkaitan ini memunculkan kecenderungan alami manusia untuk menjalin koneksi dengan lingkungan alam, yang dikenal sebagai konsep biophilia (Wilson, 1986). Hubungan ini membawa dampak positif yang beraneka ragam, di antaranya peningkatan kondisi psikologis (Mayer dkk, 2009), perbaikan kesehatan dan produktivitas (Browning dkk., 2014), manfaat fisik (Ulrich, 1984), serta dampak positif dalam skala perkotaan yang lebih luas (Beatley, 2016). Namun, sebagian besar kesimpulan mengenai manfaat desain biofilik terhadap aspek fisik, psikologis, kesehatan, dan produktivitas manusia masih sering didasarkan pada pendekatan intuitif atau temuan praktis di lapangan. Oleh karena itu, hubungan tersebut perlu dikaji lebih lanjut dengan merujuk pada literatur dan pendekatan ilmiah dapat memperkuat dasar teoritis dari temuan tersebut.

Respon manusia terhadap alam umumnya diproses melalui mekanisme berpikir yang kompleks di dalam otak (Kaplan, 1995). Berdasarkan pemahaman tentang cara kerja otak dalam memproses informasi, respons spesifik terhadap elemen alami yang terdapat dalam desain arsitektural dapat dianalisis lebih mendalam. Kajian mengenai bagaimana otak merespons ruang dan bangunan secara umum menjadi bagian dari pembahasan dalam bidang neurosains arsitektur (Eberhard, 2008). Dengan mengintegrasikan prinsip-prinsip desain biofilik dan pendekatan neurosains, respons manusia terhadap ruang yang mengandung elemen alam dapat dijelaskan secara lebih terperinci. Pendekatan ini diharapkan mampu meningkatkan efektivitas penerapan kriteria biofilik dalam desain bangunan melalui pemahaman berbasis biologis dan neurologis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kriteria Biophilic

Arsitektur biofilik memiliki sejumlah kriteria yang telah dirumuskan oleh berbagai sumber literatur. Salah satu literatur utama dalam penelitian adalah karya Kellert dkk (2011) yang berjudul *Biophilic Design: The Theory, Science, and Practice of Bringing Buildings to Life*. Berdasarkan literatur tersebut, kriteria Biofilik diklasifikasikan ke dalam tiga komponen, yaitu *Nature in the Space*, *Nature of the Space*, dan *Natural Analogues*. Penelitian ini secara khusus akan membahas komponen *Nature in the Space* untuk mempersempit cakupan kajian terhadap kriteria arsitektur Biofilik.

Komponen *Nature in the Space* (kehadiran alam dalam ruang secara langsung) merujuk pada keterlibatan elemen-elemen alam secara fisik dalam desain bangunan. Elemen-elemen tersebut mencakup cahaya alami, vegetasi, air, udara dan angin, serta keberadaan hewan. Dalam konteks

penelitian ini, cahaya alami dan vegetasi diposisikan sebagai aspek prioritas dalam pengembangan pembahasan karena memiliki pengaruh yang signifikan terhadap aspek keterhubungan manusia dengan alam. Cahaya alami berperan dalam mendukung ritme sirkadian (Brainard dkk, 2001) yang berpengaruh pada aspek kontrol kewaspadaan manusia (Dijk & Czeisler, 1995). Sedangkan vegetasi mampu memberikan koneksi visual dan emosional yang kuat antara penghuni dan lingkungan alami dan berdampak pada proses pemulihan perhatian dan penurunan stress (Kaplan, 1995). Berdasarkan studi tersebut, kedua elemen ini dinilai paling dominan dan mudah diidentifikasi dalam implementasi desain biofilik, sehingga menjadi fokus utama dalam pembahasan dan analisis penelitian ini.

Komponen cahaya alami dalam lingkup biophilic berkaitan dengan pola dari respon tubuh manusia ketika terpapar cahaya alami (Kellert dkk, 2015). Pada kondisi tertentu, tubuh manusia memberikan respon yang spesifik terkait paparan cahaya alami yaitu peningkatan kewaspadaan. Peningkatan kewaspadaan tersebut berkaitan pula dengan siklus istirahat periodik dari tubuh manusia (ritme sirkadian) yang berpengaruh pada keberlangsungan proses pemulihan fisik dan aspek siklus istirahat. Paparan cahaya alami pada pengguna akan meningkatkan kewaspadaan dan kinerja penghuni (Viola dkk, 2008), sebaliknya ketidakhadiran fitur cahaya, khususnya cahaya alami, akan memberikan sinyal penurunan kewaspadaan dan berpengaruh pada kondisi fisik yang menurun dalam segi produktivitas (mengantuk).

Komponen vegetasi pada Biofilik berperan sebagai elemen visual spesifik yang dapat memberikan pengaruh psikologis berupa penurunan stress dan peningkatan fokus (Kaplan, 1995). Wujud visual dari alam berupa warna dan pola yang terdapat pada elemen alami memberikan stimulan khusus yang berdampak pada kondisi fisik pengamat yang dipengaruhi oleh aspek memori (Bies, 2016), sehingga berdampak pada perasaan tenang dan aman dari ancaman fisik. Pada penelitian lebih lanjut, aspek vegetasi dapat memberikan efek beraneka ragam diantaranya, dapat mengurangi penggunaan energi dari tubuh (Kaplan, 1989), mengurangi beban kognitif otak (Raichle dkk, 2007) dan peningkatan rasa aman (Buckner dkk, 2008). dampak-dampak yang muncul tersebut merupakan hasil dari proses otak yang berkaitan dengan persepsi dan memori manusia.

2.2. Kriteria Neuroscience

Neuroscience dalam lingkup arsitektur dijabarkan sebagai lingkup ilmu yang membahas terhadap proses biologis otak manusia dalam merespon komponen arsitektural (Eberhard, 2008) seperti ruang (Pallasmaa, 2024), bentuk (Banaei dkk, 2017), estetika (Biederman & Vessel, 2006) dan lain sebagainya. Pembahasan yang berlangsung dalam lingkup *Neuroscience* berfokus pada aspek biologis otak dengan mengaitkan komponen otak, hormonal dan elem lain yang berdampak pada respon manusia terhadap

paparan visual (Hagerhall dkk, 2015), auditori (Alvarsson dkk, 2010) dan taktil (Joye, 2007).

Indera manusia berperan dalam menangkap informasi dari lingkungan eksternal manusia dan berdampak penting dalam pengiriman informasi menuju otak dan berdampak luas terhadap kondisi internal manusia. Respon manusia terhadap lingkungan dapat berupa respon positif dan respon negatif. Dalam lingkup Biofilik, sebuah pola respon yang biasa muncul dalam lingkungan internal manusia biasanya diamati secara intuitif (berdasarkan data hasil respon) baik dari hasil eksperimen yang mencakup kegiatan pengamatan respon, wawancara responden maupun data spesifik yang berkaitan dengan respon manusia. Berbeda dengan Biofilik yang berfokus pada pola respon manusia terhadap sebuah stimulasi melalui indra, *Neuroscience* berfokus pada penjabaran biologis yang terjadi dalam proses informasi di dalam organ internal manusia sehingga dapat menghasilkan respon spesifik secara fisik dan psikologis.

Otak manusia bersifat plastis dan dapat berubah akibat pengalaman dan lingkungan (Pascual-Leone dkk, 2005), sehingga keberadaan lingkungan akan berpengaruh besar pada kondisi internal manusia seperti perilaku, mood dan kebiasaan manusia. Informasi yang dihimpun oleh indra manusia menjadi dasar dalam pemrosesan otak dan berpengaruh pada respon manusia itu sendiri. *Neuroscience* memiliki tujuan positif dalam meningkatkan kesejahteraan manusia melalui penjabaran biologis yang dapat menjadi acuan dalam pembentukan lingkungan. Lingkungan positif yang selaras dengan cara kerja biologis manusia diharapkan dapat menekan dan mengurangi dampak negative yang berpotensi muncul dari pengguna bangunan.

Terdapat beberapa pembahasan *Neuroscience* yang dapat dikaitkan dengan kriteria biophilik, khususnya elemen *Nature in the space* yang fokus pada cahaya dan vegetasi. Keterkaitan cahaya terhadap respon produktivitas manusia dapat dijabarkan melalui konsep *Circadian Entertainment*, yaitu proses ritme biologis tubuh (Boubekri, 2014). Konsep tersebut berkaitan dengan siklus istirahat dan produktivitas manusia dalam lingkup 24 jam. Siklus manusia tersebut merupakan pola kebiasaan yang muncul dari tubuh manusia sebagai respon dari kondisi lingkungan manusia yang beragam. Diluar dari kebutuhan manusia yang beragam, cahaya yang menjadi aspek stimulan dari indra manusia memiliki kontribusi terhadap tingkat produktivitas dan kualitas istirahat tubuh.

Fitur alam berupa vegetasi dan respon tubuh manusia memiliki keterkaitan dalam lingkup teori pemulihan perhatian atau *Attention Restoration Theory* (Kaplan, 1995). Teori tersebut menjabarkan bahwa manusia memiliki periode pemulihan perhatian yang berdampak pada penurunan stress dan kenyamanan kognitif. Berbagai respon lingkungan yang bersifat negatif memberikan beban kognitif pada otak manusia dan berdampak pada kemampuan manusia dalam mengelola emosional akibat

dari beban yang terlalu besar (stress). Ketidaknyamanan emosional dapat dinetralkan dengan memberikan kenyamanan kognitif manusia, sehingga kondisi psikologis manusia berada dalam tingkatan yang stabil. Kestabilan psikologis manusia secara lebih jauh akan berdampak positif pada penurunan tingkat stres (Ulrich, 1984), peningkatan produktivitas (Arnsten, 2009) dan kreativitas (Beaty dkk, 2016).

3. METODE PENELITIAN

Proses penelitian bertujuan untuk memberikan pandangan spesifik peneliti terhadap respon dari kriteria Biofilik yang terbatas pada aspek praktis. Untuk mendukung keterbatasan aspek literatur dalam pengembangan kesimpulan manfaat Biofilik, *Integrative literature review* dilakukan secara *non-systematic* berbasis. *Integrative review* digunakan untuk menggali lebih dalam komponen pembahasan sesuai tujuan penelitian yaitu menjabarkan aspek teoritis terkait respon positif Biofilik. Tipe penelitian yang cenderung *non-systematic* digunakan untuk menjaga arah pengembangan penelitian sesuai tujuan utama. Jenis literatur review yang mengembangkan perspektif baru (Torraco, 2005) terkait topik penelitian menjadi alasan utama pemilihan metode pada penelitian tersebut.

Proses penelitian dijabarkan menjadi beberapa pembahasan sebagai berikut:

a) Potensi Kekurangan

Berdasarkan penjelasan penulis sebelumnya, potensi kekurangan yang menjadi dasar dalam penelitian adalah kekurangan dari proses integrasi aspek alam dan respon tubuh manusia yang dibahas melalui proses praktis (Pengamatan, wawancara, dll). Terdapat ketidakhadiran penjabaran yang berkaitan dengan aspek literatur yang berjalan dalam proses pengolahan informasi.

b) Pokok Bahasan Utama

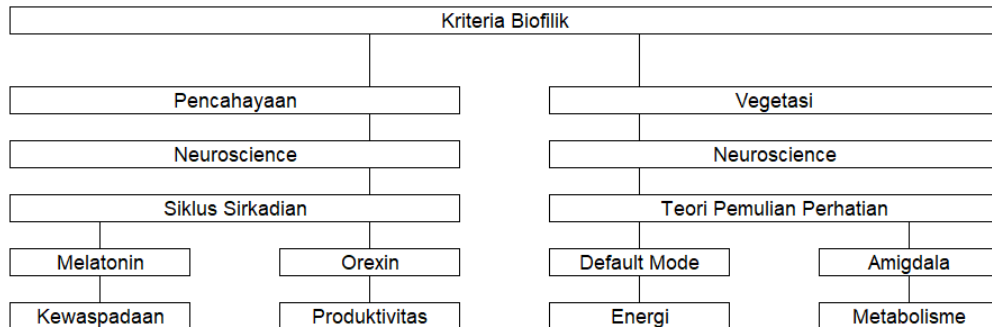
Pokok bahasan yang difokuskan dalam lingkup kriteria biofilik (*Nature in the space – Kellert & Calabrese, 2015*) yaitu aspek pencahayaan dan vegetasi (fitur alam) dikarenakan besarnya implikasi dari stimulasi dua komponen tersebut dalam tubuh manusia. Pembahasan yang berfokus pada peninjauan dari tahapan proses informasi dalam tubuh melibatkan aspek biologis dalam otak, sehingga ditambahkan komponen pembahasan tambahan dalam lingkup *Neuroscience* (Ritme Sirkadian & Teori Pemulihan Perhatian).

c) Perspektif Pendukung

Terkait hubungan pencahayaan dan ritme sirkadian, pembahasan berada pada lingkup proses di dalam otak yang berkaitan dengan Kelenjar pineal dan Neuron Orexin dalam tubuh. Sedangkan pada lingkup pembahasan terkait vegetasi, akan membahas terkait mode aktivitas otak *moderate* (DMN) dan Amigdala dalam otak.

d) Kerangka Konseptual

Kerangka konseptual pembahasan dijabarkan dalam bagan berikut:



Gambar. 1
Kerangka konseptual terkait pembahasan penelitian
Sumber: Analisa pribadi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kriteria Cahaya

Konsep *Nature in the Space* dalam desain biofilik, khususnya melalui pencahayaan alami, memiliki dasar teoreti yang kuat dalam *Neuroscience*, terutama terkait proses biologis tubuh yang dikenal dengan *Circadian Entrainment*. Hubungan antara cahaya alami dan respons tubuh, khususnya dalam peningkatan kualitas tidur dan stabilisasi ritme sirkadian, berpusat pada regulasi Melatonin (hormone) yang dihasilkan oleh kelenjar pineal di dalam otak. Proses ini dimulai ketika cahaya alami dengan panjang gelombang sekitar 480 nm diterima oleh sel *Ganglion Fotosensitif Intrinsik* pada retina (ipRGCs), yang kemudian mengirimkan sinyal ke *Nukleus Suprachiasmaticus* (SCN) melalui jalur *Retinohypothalamic Tract* (Ruby dkk., 2002). SCN berperan sebagai pengatur utama jam biologis dan memengaruhi produksi Melatonin oleh Kelenjar Pineal (Klein dkk., 1997).

Melatonin, sebagai hormon utama dalam regulasi tidur, diproduksi secara berkala dan mempengaruhi tingkat kewaspadaan seseorang. Dalam kondisi normal tanpa gangguan pencahayaan, produksi Melatonin meningkat pada malam hari, sehingga menurunkan kewaspadaan dan meningkatkan kualitas tidur. Sebaliknya, paparan cahaya dapat menghambat produksi hormon dan menyebabkan penurunan rasa kantuk serta peningkatan kewaspadaan. Penelitian menunjukkan bahwa paparan cahaya dengan intensitas tertentu dapat menekan produksi melatonin secara signifikan, yaitu hingga 70% (Lewy dkk, 1980) dan bahkan mencapai 76% (Brainard dkk., 2001). Efek pencahayaan yang diterima oleh *Nukleus Suprachiasmaticus* (SCN) tidak hanya berpengaruh pada Kelenjar Pineal, tetapi juga memengaruhi bagian lain dari hipotalamus, yaitu *Neuron Orexin*

yang terletak di *Lateral Hipotalamus* (Sakurai, 2007). Aktivasi SCN akan merangsang *Neuron Orexin* (Saper dkk, 2005), yang kemudian mengeluarkan dua jenis senyawa *Neuropeptida*, yaitu *Orexin-A (Hypocretin-1)* dan *Orexin-B (Hypocretin-2)* (Schöne & Burdakov, 2012). Dalam studi yang dilakukan oleh Carter (2009), ditemukan bahwa pelepasan *Orexin-A* pada sistem saraf menghasilkan dua efek utama, yaitu peningkatan akurasi dalam menyelesaikan tugas kognitif sebesar 35% dan penurunan waktu reaksi (laten reaksi) sebesar 20%. Kedua efek tersebut secara langsung menunjukkan adanya peningkatan kewaspadaan tubuh pada fase tertentu dari ritme sirkadian.

Selain menghasilkan senyawa *Neuropeptida* oleh *Neuron Orexin*, pencahayaan alami juga memicu aktivasi pada *Nukleus Arcuatus*, yang berperan dalam regulasi nafsu makan dan metabolisme tubuh (Sakurai, 2014). Interaksi antara rangsangan terhadap *Neuron Orexin* dan *Nucleus Arcuatus* ini menghasilkan kombinasi respon berupa peningkatan kewaspadaan sekaligus peningkatan metabolisme, yang secara umum dapat ditafsirkan sebagai upaya tubuh untuk meningkatkan produktivitas secara fisiologis. Seluruh proses tersebut berlangsung secara berulang dan menjadi bagian dari siklus alami tubuh, sehingga membentuk suatu kebiasaan biologis di mana ritme internal tubuh menyesuaikan diri dengan pola cahaya alami yang diterima oleh retina. Kemampuan tubuh untuk melakukan penyesuaian ini dikenal sebagai *Circadian Entrainment* (Boubekri, 2014).

4.2. Kriteria Fitur Alam (Vegetasi)

Kriteria Biofilik dalam kaitannya dengan fitur alam, khususnya pada mekanisme penurunan stres pengguna bangunan, berhubungan erat dengan *Attention Restoration Theory* (ART) yang dikemukakan Kaplan (1995). Teori menyatakan bahwa lingkungan alami memiliki kemampuan untuk memulihkan kapasitas perhatian manusia yang menurun akibat kelelahan mental. Dengan demikian, interaksi antara manusia dan elemen-elemen alami dalam lingkungan dapat memberikan efek pemulihan psikologis, termasuk penurunan beban mental dan stabilisasi kondisi emosional. Proses tersebut merupakan proses kompleks yang melibatkan berbagai sistem dalam otak yang menunjukkan bahwa elemen alam berperan dalam menciptakan suasana ruang dan membantu menjaga kesehatan mental serta keseimbangan fisik pengguna bangunan. Fitur alam ditangkap oleh manusia melalui beberapa indra, seperti penglihatan (*korteks oksipital*), pendengaran (*korteks temporal*) dan peraba (*korteks somatosensorik*). Namun, dalam pembahasan ini, fokus akan diberikan pada interaksi melalui saluran visual, agar pembahasan lebih terarah dan mendalam. Sementara itu, fitur-fitur *Biofilik* yang berkaitan dengan indera lain akan dikaji dalam konteks kriteria yang lebih spesifik.

Pada aspek visual, paparan terhadap fitur alam seperti warna-warna alami (hijau dan biru) serta pola *Fractal* alami seperti bentuk daun atau aliran sungai diproses oleh otak dengan tipe *Moderate Visual Coherence* (Hägerhäll dkk, 2015). Karakter ini berada di tengah-tengah antara kompleksitas visual yang tinggi dan rendah. Pola *Fractal* yang terdapat pada alam dianggap lebih mudah dikenali dan diproses oleh otak manusia karena menyerupai lingkungan tempat manusia berevolusi (Taylor dkk, 2011). Kemiripan tersebut memungkinkan otak untuk memproses informasi visual secara lebih efisien, sehingga beban kognitif dapat dikurangi secara signifikan. Efisiensi ini memberikan dampak positif, baik secara fisiologis maupun psikologis, karena menurunkan tekanan mental dan membantu mempertahankan keseimbangan sistem saraf.

Kaplan (1995) secara lebih mendalam menjelaskan bahwa rangsangan dari elemen alam memiliki kemampuan untuk menarik perhatian manusia tanpa membebani kerja otak secara berlebihan. Hal ini berhubungan dengan penurunan aktivitas pada area *Dorsolateral Prefrontal Cortex* (dlPFC), (bagian otak yang berkaitan dengan mode perhatian terarah [*Directed Attention*]). Ketika perhatian tidak lagi berada dalam mode terarah, otak akan beralih ke mode diam atau *Default Mode Network* (DMN). Aktivasi DMN menandakan bahwa tidak ada tuntutan kognitif yang mendesak, sehingga beban berpikir dapat berkurang secara signifikan (Raichle dkk, 2007). Kondisi ini mendukung proses pemulihan perhatian melalui tiga mekanisme utama: penghematan energi akibat menurunnya aktivitas dlPFC (Fox dkk, 2005), meningkatnya aktivitas otak secara otomatis tanpa kontrol kesadaran (Raichle dkk, 2007), serta pengurangan kelelahan mental yang muncul akibat tekanan kognitif yang berkepanjangan (Buckner dkk, 2008).

Lebih lanjut, aktivasi DMN juga berdampak pada bagian otak lain, yaitu Amigdala, melalui jalur *Saraf Inhibitorik* (LeDoux, 2013). Amigdala berperan penting dalam deteksi ancaman dan pengolahan respons ketakutan. Ketika aktivasi DMN meningkat, Sistem Inhibitorik dari *Medial Prefrontal Cortex* (mPFC) akan menghambat aktivitas Amigdala, yang berdampak pada penurunan persepsi terhadap ancaman dan pengurangan intensitas emosi negatif seperti rasa takut. Hal ini menghasilkan kondisi psikologis yang lebih tenang dan stabil, karena otak menafsirkan kondisi lingkungan relatif aman.

Dengan mempertimbangkan mekanisme biologis tersebut, dapat disimpulkan bahwa penurunan stres akibat paparan visual terhadap fitur alam terjadi melalui proses pemulihan perhatian yang berkaitan dengan *Attention Restoration Theory* (ART). Elemen-elemen alami mendorong peralihan fungsi otak ke mode DMN, yang mendukung efisiensi energi, mengurangi beban berpikir sadar, dan mengaktifkan sistem otomatis dalam otak untuk mereduksi tekanan kognitif. Selain itu, keterkaitan memori manusia terhadap alam yang terbentuk sepanjang proses evolusi memiliki kontribusi besar dalam memunculkan perasaan aman dan tenang. Alam yang memiliki karakter warna dan pola spesifik yang familiar dianggap

sebagai isyarat lingkungan yang mendukung keselamatan, sehingga memperkuat efek pemulihan secara psikologis dan fisiologis.

4.3. Ketekaitan *Biophilic* Dan *Neuroscience*

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, dapat dirangkum bahwa keterkaitan antara kriteria Biofilik (pencahayaan dan vegetasi) dengan *Neuroscience* melibatkan proses pengolahan informasi dalam otak serta berpengaruh pada respon biologis tubuh manusia secara spesifik.

Tabel 1.
Keterkaitan kriteria *Biophilic* dan *Neuroscience*

No	Kriteria Biophilic	Mekanisme Biologis	Bagian Otak/Organ	Efek Psikologis	Literatur Pendukung
1	Cahaya Alami	Konsep Circadian Entrainment melalui pengaruh cahaya terhadap produksi melatonin dan aktivasi neuron orexin	Retina (ipRGCs), SCN, kelenjar pineal, lateral hipotalamus (orexin), nucleus arcuatus	Regulasi tidur melalui peningkatan atau penekanan melatonin Peningkatan kewaspadaan dan akurasi kognitif melalui pelepasan orexin - Peningkatan metabolisme dan produktivitas	Neurosains ritme sirkadian - Panda (2002), Gooley dkk. (2001), Sakurai (2007), Carter (2009)
2	Fitur Alam (Vegetasi)	Pemulihan perhatian dan stres melalui aktivasi Default Mode Network (DMN) dan inhibisi amigdala	Korteks oksipital (visual), dlPFC, DMN, amigdala, mPFC	Reduksi beban kognitif Penurunan emosi negatif seperti takut Perasaan aman dan nyaman Keseimbangan emosi dan efisiensi energi otak	Attention Restoration Theory (ART) - Kaplan (1995), Raichle dkk. (2001), LeDoux (2013), Hägerhäll dkk. (2015)

Sumber: Analisa Pribadi

5. KESIMPULAN

Kriteria Biofilik khususnya aspek Pencahayaan dan Vegetasi dalam kelompok *Nature in the space*, tidak hanya memberikan pola respon acak, baik respon positif maupun respon negatif. Respon tersebut muncul setelah mengalami proses biologis di dalam internal manusia yang melibatkan berbagai organ, komponen dan hormon spesifik sesuai dengan fungsinya

masing-masing. Cahaya matahari telah memberikan pengaruh pada tingkat kewaspadaan manusia melalui proses pengolahan informasi yang melibatkan *Nukleus Suprachiasmaticus* sebagai kontrol Hormon Melatonin dan berpengaruh pada kewaspadaan manusia. Pencahayaan juga berpengaruh pada *Neuron Orexin* dan berdampak pada produktivitas manusia. Vegetasi dalam wujud warna dan pola alam memberikan pengaruh pada perubahan pola fokus manusia dan Amigdala, sehingga berdampak pada efisiensi energi, peningkatan pemulihan fokus dan peningkatan rasa aman terhadap lingkungan.

Penelitian masih berfokus pada kriteria biophilik yang terbatas pada aspek cahaya dan vegetasi, sehingga belum dapat menjabarkan secara kriteria biophilic secara menyeluruh. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk membahas terkait penjabaran proses neural dari pola respon positif dari kriteria biophilic sehingga dapat memberikan penjabaran yang lebih menyeluruh pada pokok bahasan Biofilik, khususnya dalam lingkup arsitektur.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvarsson, J. J., Wiens, S., & Nilsson, M. E. (2010). Stress Recovery During Exposure To Nature Sound And Environmental Noise. *International journal of environmental research and public health*, 7(3), 1036-1046.
- Arnsten, A. F. (2009). Stress Signalling Pathways That Impair Prefrontal Cortex Structure And Function. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(6), 410-422.
- Banaei, M., Hatami, J., Yazdanfar, A., & Gramann, K. (2017). Walking through architectural spaces: The impact of interior forms on human brain dynamics. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 477.
- Beaty, R. E., Benedek, M., Silvia, P. J., & Schacter, D. L. (2016). Creative cognition and brain network dynamics. *Trends in cognitive sciences*, 20(2), 87-95.
- Beatley, T. (2016). *Handbook of biophilic city planning & design*. Island Press.
- Biederman, I., & Vessel, E. A. (2006). Perceptual pleasure and the brain: A novel theory explains why the brain craves information and seeks it through the senses. *American Scientist*, 94(3), 247-253.
- Bies, A. J., Blanc-Goldhammer, D. R., Boydston, C. R., Taylor, R. P., & Sereno, M. E. (2016). Aesthetic Responses To Exact Fractals Driven By Physical Complexity. *Frontiers In Human Neuroscience*, 10, 210.
- Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E., & Rollag, M. D. (2001). Action Spectrum For Melatonin Regulation In Humans: Evidence For A Novel Circadian Photoreceptor. *Journal of Neuroscience*, 21(16), 6405-6412.

- Browning, W.D., Ryan, C.O., Clancy, J.O. (2014). 14 Patterns of Biophilic Design. New York: Terrapin Bright Green, LLC.
- Buckner, R. L., Andrews-Hanna, J. R., & Schacter, D. L. (2008). The brain's default network: anatomy, function, and relevance to disease. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124(1), 1-38.
- Boubekri, M., Cheung, I. N., Reid, K. J., Wang, C. H., & Zee, P. C. (2014). Impact of windows and daylight exposure on overall health and sleep quality of office workers: a case-control pilot study. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 10(6), 603-611.
- Carter, M. E., Borg, J. S., & de Lecea, L. (2009). The brain hypocretins and their receptors: mediators of allostatic arousal. *Current opinion in pharmacology*, 9(1), 39-45.
- Dijk, D. J., & Czeisler, C. A. (1995). Contribution of the circadian pacemaker and the sleep homeostat to sleep propensity, sleep structure, electroencephalographic slow waves, and sleep spindle activity in humans. *Journal of Neuroscience*, 15(5), 3526-3538.
- Eberhard, J. P. (Ed.). (2008). *Brain landscape the coexistence of neuroscience and architecture*. Oxford University Press.
- Fox, M. D., Snyder, A. Z., Vincent, J. L., Corbetta, M., Van Essen, D. C., & Raichle, M. E. (2005). The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(27), 9673-9678.
- Hägerhäll, C. M., Laike, T., Küller, M., Marcheschi, E., Boydston, C., & Taylor, R. P. (2015). Human physiological benefits of viewing nature: EEG responses to exact and statistical fractal patterns. *Nonlinear Dynamics, Psychology & Life Sciences*, 19(1).
- Joye, Y. (2007). Architectural lessons from environmental psychology: The case of biophilic architecture. *Review of general psychology*, 11(4), 305-328.
- Kaplan, R., & Kaplan, S. (1989). *The experience of nature: A psychological perspective*. Cambridge University Press.
- Kaplan, S. (1995). The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework. *Journal of Environmental Psychology*, 15(3), 169-182.
- Kellert, S., & Calabrese, E. (2015). *The practice of biophilic design*. London: Terrapin Brighth LLC, 2015, 3.21: 2021-09
- Kellert, S. R., Heerwagen, J., & Mador, M. (2011). *Biophilic design: the theory, science and practice of bringing buildings to life*. John Wiley & Sons.
- Klein, D. C., Coon, S. L., Roseboom, P. H., Weller, J. L., Bernard, M., Gastel, J. A., ... & Baler, R. (1997). The melatonin rhythm-generating

- enzyme: molecular regulation of serotonin N-acetyltransferase in the pineal gland. *Recent progress in hormone research*, 52, 307-57.
- LeDoux, J. E. (2013). Emotion circuits in the brain. *Fear and anxiety*, 259-288.
- Lewy, A. J., Wehr, T. A., Goodwin, F. K., Newsome, D. A., & Markey, S. P. (1980). Light suppresses melatonin secretion in humans. *Science*, 210(4475), 1267-1269.
- Mayer, F. S., Frantz, C. M., Bruehlman-Senecal, E., & Dolliver, K. (2009). Why is nature beneficial? The role of connectedness to nature. *Environment and Behavior*, 41(5), 607-643.
- Pallasmaa, J. (2024). *The eyes of the skin: Architecture and the senses*. John Wiley & Sons.
- Pascual-Leone, A., Amedi, A., Fregni, F., & Merabet, L. B. (2005). The plastic human brain cortex. *Annu. Rev. Neurosci.*, 28(1), 377-401.
- Raichle, M. E., & Snyder, A. Z. (2007). A default mode of brain function: a brief history of an evolving idea. *Neuroimage*, 37(4), 1083-1090.
- Ruby, N. F., Brennan, T. J., Xie, X., Cao, V., Franken, P., Heller, H. C., & O'Hara, B. F. (2002). Role of melanopsin in circadian responses to light. *Science*, 298(5601), 2211-2213.
- Sakurai, T. (2007). The neural circuit of orexin (hypocretin): maintaining sleep and wakefulness. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(3), 171-181.
- Sakurai, T. (2014). The Role of Orexin in Motivated Behaviours. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(11), 719-731.
- Saper, C. B., Scammell, T. E., & Lu, J. (2005). Hypothalamic regulation of sleep and circadian rhythms. *Nature*, 437(7063), 1257-1263.
- Schöne, C., & Burdakov, D. (2012). Glutamate and GABA as rapid effectors of hypothalamic "peptidergic" neurons. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 6, 81.
- Taylor, R. P., Spehar, B., Van Donkelaar, P., & Hagerhall, C. M. (2011). Perceptual and physiological responses to Jackson Pollock's fractals. *Frontiers in human neuroscience*, 5, 60.
- Torraco, R. J. (2005). Writing integrative literature reviews: Guidelines and examples. *Human resource development review*, 4(3), 356-367.
- Ulrich, R. S. (1984). View Through A Window May Influence Recovery From Surgery. *Science*, 224(4647), 420-421.
- Viola, A. U., James, L. M., Schlangen, L. J., & Dijk, D. J. (2008). Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 297-306.
- Wilson, E. O. (1986). *Biophilia*. Harvard University Press.