

Instalasi Green Facade pada Bangunan Gedung B FPIK Universitas Diponegoro

ABSTRAK

Gedung B Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK) Universitas Diponegoro merupakan bangunan pendidikan yang digunakan untuk menunjang kegiatan akademik, administrasi, dan laboratorium. Gedung ini memiliki fasad masif yang terpapar radiasi matahari tinggi hingga memicu ketidaknyamanan termal pengguna ruangan dan kurang optimalnya kualitas visual bangunan. Penelitian ini bertujuan merancang instalasi green facade melalui pendekatan evidence-based design. Metode pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, studi dokumen DED bangunan, studi literatur, studi preseden serta wawancara mendalam bersama ahli lanskap dan agroekoteknologi. Data dianalisis secara komparatif dengan studi preseden tropis di Asia Selatan dan Tenggara untuk merumuskan kriteria desain selubung sekunder (second skin). Hasil perencanaan menetapkan sistem Indirect Green Facade menggunakan struktur penopang steel grating galvanis setebal 78 cm sebagai koridor perawatan. Vegetasi utama yang dipilih adalah *Epipremnum*, *Thunbergia laurifolia*, dan *Antigonon leptopus* yang didukung sistem irigasi tetes otomatis berbasis rainwater harvesting dengan kapasitas tandon 6.000 liter. Evaluasi konfigurasi desain secara arsitektural menunjukkan bahwa instalasi ini berpotensi memberikan efek peneduhan optimal pada fasad timur laut, meningkatkan kualitas iklim mikro bangunan secara pasif, serta memperkuat karakter visual biofilik yang mendukung konsep Green Campus Universitas Diponegoro.

Kata Kunci Biofilik, desain, green facade, vegetasi, universitas

Maharani Luna S.¹,
Ishmah Salma H.²,
Previari Umi P.^{3*},
Muhammad Ismail H.⁴

^{1,2,3,4}Universitas Diponegoro, Kota Semarang, Indonesia

*Penulis Korespondensi:
previ.pramesti@gmail.com

Green Facade Installation on Building B of the FPIK, Diponegoro University

ABSTRAK

*Building B of the Faculty of Fisheries and Marine Science (FPIK), Diponegoro University, is an educational facility utilized to support academic, administrative, and laboratory activities. The building features massive facade surfaces exposed to high solar radiation, creating thermal discomfort for room users and rendering the building's visual quality less than optimal. This study aims to design a green facade installation using an evidence-based design approach. Data collection methods were carried out through field observations, a study of the building's Detailed Engineering Design (DED) documents, literature reviews, precedent studies, and in-depth interviews with landscape and agro-ecotechnology experts. The data were comparatively analyzed against tropical precedent studies in South and Southeast Asia to formulate design criteria for a second skin system. The planning results established an Indirect Green Facade system using a galvanized steel grating support structure with a width of 78 cm to serve as a maintenance corridor. The primary vegetation selected includes *Epipremnum*, *Thunbergia laurifolia*, and *Antigonon leptopus*, supported by an automatic drip irrigation system based on rainwater harvesting with a tank capacity of 6,000 liters. The architectural evaluation of the design configuration indicates that this installation potentially delivers optimal shading effects on the northeast facade, passively improves the building's microclimate quality, and strengthens the biophilic visual character that supports Diponegoro University's Green Campus concept.*

Keywords Biophilic, Design, Green Facade, Vegetation, University



Copyright ©2026 by the Author(s)
This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

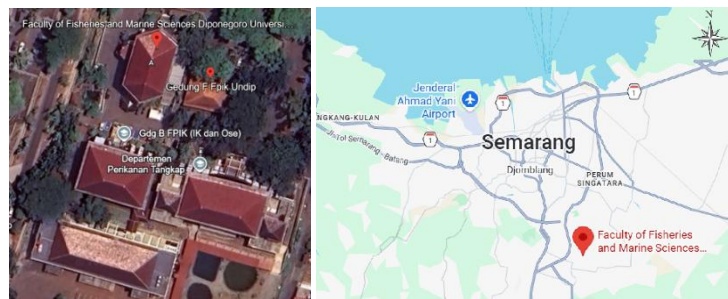
INFO ARTIKEL

DOI: 10.32315/JDLBI.v3i2.738
e-ISSN: 3048-4235

Diterima:
29 Juni 2026
Disetujui:
14 September 2026
Diterbitkan:
31 Oktober 2026

PENDAHULUAN

Gedung B Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK) Universitas Diponegoro merupakan bangunan pendidikan yang digunakan untuk menunjang kegiatan perkuliahan, administrasi, dan aktivitas akademik lainnya. Bangunan ini berlokasi di Kampus Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang. Wilayah Kecamatan Tembalang berada di dataran tinggi Semarang Atas dengan ketinggian 125–180 mdpl (posisi geografis dapat dilihat pada Gambar 1). Meski berada di area perbukitan, wilayah ini memiliki iklim tropis dengan panas matahari tahunan yang tinggi, yaitu rata-rata 5,26 kWh/m²/hari dan puncaknya mencapai 6,19 kWh/m²/hari di bulan Oktober [1]. Ditambah lagi, data satelit terbaru mencatat suhu permukaan di Tembalang terus meningkat pasca-pandemi, hingga rekor rata-rata Kota Semarang menyentuh 33,5°C pada tahun 2024 akibat padatnya area terbangun [2]. Cuaca panas ini diperparah oleh banyaknya halaman beraspal atau semen di sekitar gedung yang ikut menyimpan panas. Akibatnya, dinding luar gedung menyerap panas matahari secara berlebihan dan membuat suhu di dalam ruangan menjadi tidak nyaman. Oleh karena itu, diperlukan strategi desain pasif yang mampu mendinginkan lingkungan bangunan tanpa mengubah fungsi utama maupun struktur asli gedung. Batasan ini penting untuk mencegah pelepasan emisi karbon baru akibat pembongkaran beton atau penggunaan material bangunan baru [3]. Di sisi lain, mempertahankan struktur asli gedung juga menjaga kelancaran kegiatan belajar-mengajar, sekaligus mengubah kulit luar bangunan menjadi "buku teks 3D" alami untuk edukasi lingkungan [4].



Gambar 1. Lokasi Gedung B FPIK UNDIP

Tingginya intensitas radiasi matahari diperparah oleh karakteristik termal selubung bangunan (*building envelope*) yang didominasi oleh material dinding masif. Pada skala mikro bangunan, material masif seperti beton dan bata dapat menyerap panas secara intensif di siang hari lalu melepaskannya ke dalam ruangan secara perlahan. Proses perpindahan panas ini meningkatkan temperatur radiasi rata-rata (*mean radiant temperature*) sehingga menurunkan kenyamanan termal pengguna dan memicu pemborosan energi pendinginan. Dikarenakan struktur utama dan fungsi gedung tidak dapat diubah, diperlukan strategi tata udara pasif pada kulit luar bangunan. Penerapan *green facade* hadir sebagai solusi selubung sekunder (*second skin*) yang efektif memotong radiasi matahari langsung, menurunkan temperatur permukaan dinding melalui pendinginan evaporatif tanaman, sekaligus meningkatkan estetika visual gedung secara ekologis [5].

Salah satu pendekatan yang banyak diterapkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah penggunaan *green façade*. Sistem ini memanfaatkan vegetasi yang ditanam pada bidang vertikal bangunan sehingga mampu memberikan efek peneduhan, mengurangi paparan radiasi matahari langsung, serta meningkatkan kualitas lingkungan sekitar bangunan [6]. Selain berfungsi sebagai elemen ekologis, *green façade* juga mampu meningkatkan kualitas visual bangunan melalui integrasi elemen vegetasi ke dalam desain fasad. Penerapan vegetasi pada bangunan diketahui dapat membantu menurunkan suhu permukaan bangunan melalui proses peneduhan dan evapotranspirasi sehingga berpotensi meningkatkan kenyamanan termal pengguna bangunan [7]. Selain itu, *green façade* juga dinilai sebagai salah satu bentuk penghijauan vertikal yang efektif untuk diterapkan pada bangunan di wilayah tropis karena dapat beradaptasi dengan keterbatasan lahan sekaligus memberikan manfaat lingkungan yang berkelanjutan [8].

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan penerapan *green façade* sangat dipengaruhi oleh pemilihan sistem, vegetasi, dan metode pemeliharaan yang sesuai dengan kondisi iklim setempat. Studi

pada bangunan perkantoran di Colombo, Sri Lanka menunjukkan bahwa sistem *Indirect Green Façade* (IGF) mampu menghasilkan penghematan energi pendinginan yang lebih baik dibandingkan fasad konvensional sehingga dinilai sesuai untuk bangunan di wilayah tropis [9]. Penelitian di New Delhi, India juga menunjukkan bahwa penggunaan tanaman rambat pada sistem *green façade* mampu menurunkan suhu permukaan fasad hingga 8,1°C pada kondisi cuaca cerah [10]. Sementara itu, penelitian pada fasilitas laboratorium termal di Thailand menekankan pentingnya pemilihan spesies tanaman tropis dengan kerapatan daun yang tinggi untuk memperoleh performa termal yang optimal [11]. Temuan lain menunjukkan bahwa keberhasilan sistem *green façade* juga dipengaruhi oleh kesesuaian antara jenis vegetasi, sistem rambatan, dan kondisi lingkungan tempat instalasi diterapkan [8]. Kesamaan karakteristik iklim antara Sri Lanka, Thailand, India, dan Indonesia menjadikan hasil penelitian tersebut relevan sebagai dasar dalam penyusunan konsep redesain Gedung B FPIK Universitas Diponegoro.

Berdasarkan hasil observasi lapangan, Gedung B FPIK memiliki beberapa bidang fasad yang menerima paparan sinar matahari secara langsung, terutama pada sisi depan bangunan yang menghadap timur laut yang tidak terlindungi oleh vegetasi maupun elemen peneduh lainnya. Selain itu, sebagian besar fasad masih didominasi oleh bidang dinding yang terlihat monoton dan belum memiliki elemen yang mampu meningkatkan kualitas visual bangunan secara signifikan. Kondisi lingkungan sekitar bangunan juga menunjukkan keterbatasan ruang terbuka hijau yang dapat berperan sebagai elemen penurun suhu lingkungan. Dari sisi pengguna, bangunan ini digunakan oleh mahasiswa, dosen, tenaga kependidikan, dan pengunjung dengan intensitas aktivitas yang tinggi setiap harinya. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya pendekatan desain yang tidak hanya memperhatikan aspek estetika, tetapi juga aspek lingkungan dan kenyamanan pengguna bangunan.



Gambar 2. Kondisi Eksisting Fasad Gedung B FPIK UNDIP

Berdasarkan kondisi tersebut, isu utama yang diangkat dalam perancangan ini adalah peningkatan kenyamanan termal dan kualitas visual bangunan melalui penerapan sistem *green façade*. Tujuan perancangan ini adalah menghasilkan usulan desain selubung sekunder (*second skin*) berbasis *green facade* yang mampu memberikan efek peneduhan, meningkatkan kualitas lingkungan mikro bangunan, serta memperkuat karakter visual Gedung B FPIK Universitas Diponegoro tanpa mengubah fungsi dan struktur utama bangunan eksisting. Untuk mencapai tujuan tersebut, diterapkan konsep *Indirect Green Façade* yang didukung oleh pemilihan vegetasi tropis, sistem irigasi otomatis berbasis *rainwater harvesting*, serta struktur pendukung yang memungkinkan kemudahan pemeliharaan. Pendekatan ini mengacu pada berbagai penelitian yang menunjukkan bahwa integrasi vegetasi, sistem irigasi yang tepat, dan pemilihan struktur pendukung merupakan faktor penting dalam keberhasilan penerapan *green façade* [9]. Melalui pendekatan tersebut, desain yang dihasilkan diharapkan mampu menjadi alternatif strategi pasif dalam meningkatkan performa lingkungan bangunan pendidikan di wilayah tropis.

METODE

Perancangan instalasi *green façade* pada Gedung B Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro memerlukan proses pengumpulan dan pengolahan data untuk menghasilkan desain yang sesuai dengan kondisi bangunan. Data yang digunakan diperoleh dari berbagai sumber untuk memahami karakteristik bangunan, kondisi lingkungan sekitar, serta kebutuhan yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan. Selain itu, informasi yang diperoleh dari kajian literatur dan best practice digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan konsep desain yang akan diterapkan. Seluruh data kemudian dianalisis untuk menentukan sistem *green façade*, vegetasi, struktur pendukung, dan sistem irigasi yang

sesuai dengan tujuan perancangan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pendekatan perancangan, metode pengumpulan data, dan metode analisis data.

2.1 Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam perancangan ini terdiri atas data primer dan data sekunder.

1. Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan secara langsung pada Gedung B FPIK Universitas Diponegoro selama dua sesi, yaitu pada Senin, 2 Maret 2026 pukul 10.19–11.31 WIB dan Selasa, 3 Maret 2026 pukul 13.16–13.57 WIB. Pengamatan difokuskan pada kondisi fasad bangunan (bentuk, material, bukaan, dan tampilan visual), kondisi lingkungan sekitar (vegetasi eksisting, sirkulasi, area parkir), serta fungsi dan aktivitas pengguna pada tiap lantai bangunan. Hasil observasi didokumentasikan melalui foto sebagai dasar analisis kebutuhan pembongkaran, area pemasangan struktur tambahan, dan penyesuaian desain fasad.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh dasar ilmiah dalam menentukan sistem, vegetasi, struktur pendukung, dan sistem irigasi *green façade* yang sesuai untuk diterapkan pada Gedung B FPIK. Pemilihan literatur mengutamakan artikel jurnal terbitan lima tahun terakhir yang membahas kinerja *green façade* pada bangunan di iklim tropis dan sub-tropis lembap dengan karakteristik serupa dengan Kota Semarang, seperti studi di Sri Lanka, India, Thailand, dan Tiongkok, dengan pertimbangan bahwa kesamaan karakteristik iklim menjadikan temuan pada wilayah tersebut relevan untuk diterapkan pada konteks perancangan ini.

3. Wawancara Intensif

Wawancara intensif dilaksanakan secara daring dengan dua narasumber ahli, yakni Pak Yayan (ahli lanskap, SOCA Studio Bandung) dan Bapak Fajrin Pramana Putra, S.P., M.Sc. (dosen Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro) yang dipilih melalui diskusi dan persetujuan bersama dosen pembimbing agar jawaban yang diperoleh relevan dengan topik perancangan. Wawancara disusun dalam 45 butir pertanyaan yang terbagi ke dalam empat aspek: jenis tanaman (11 pertanyaan, mencakup kesesuaian spesies terhadap sistem penanaman, kebutuhan air, pengaruh orientasi dan ketinggian bangunan, serta nilai estetika), media tanam (10 pertanyaan, mencakup jenis media, ketahanan terhadap kondisi outdoor, dan sistem drainase), sistem pengairan (14 pertanyaan, mencakup metode irigasi, pemanfaatan sumber air alternatif, dan distribusi air pada bangunan bertingkat), serta perawatan (10 pertanyaan, mencakup frekuensi pemangkasan, pengecekan struktur pendukung, dan indikator kesehatan tanaman). Pelaksanaan wawancara mengikuti empat tahap: pembukaan (perkenalan dan izin dokumentasi), penjelasan topik dan pengambilan biodata narasumber, sesi tanya jawab per aspek, serta penutup dan dokumentasi.

4. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari dokumen *Detailed Engineering Design* (DED) Gedung B FPIK Universitas Diponegoro yang diperoleh dari Direktorat Aset Universitas Diponegoro, digunakan untuk memperoleh informasi teknis terukur mengenai dimensi bangunan, posisi bukaan, dan bidang dinding yang berpotensi untuk penempatan elemen vegetasi.

2.2 Metode Analisis Data

Data primer dan sekunder yang telah dikumpulkan dianalisis melalui dua tahap. Tahap pertama adalah analisis deskriptif-kualitatif terhadap kondisi eksisting bangunan (hasil observasi) dan hasil wawancara, yang menghasilkan daftar awal rekomendasi vegetasi serta identifikasi permasalahan fasad yang perlu diselesaikan melalui perancangan.

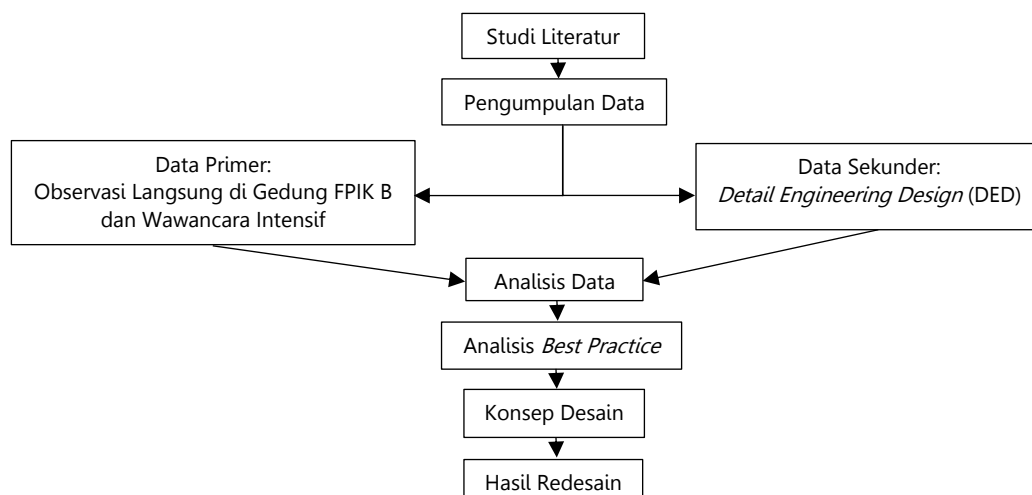
Tahap kedua adalah penyaringan (*screening*) rekomendasi vegetasi awal menggunakan lima kriteria dasar pemilihan vegetasi yang disusun berdasarkan triangulasi antara hasil wawancara dan studi literatur, yaitu:

1. Kriteria adaptasi iklim mikro dan resiliensi termal: tanaman harus tahan terhadap paparan matahari langsung dan angin kencang pada elevasi tinggi, merujuk pada prinsip efek pendinginan evapotranspirasi yang hanya optimal pada tanaman yang tidak mengalami stres panas [11][12].
2. Kriteria densitas kanopi dan efisiensi pembayangan (*shading index*): memprioritaskan tanaman dengan bentuk merambat/menjuntai/perdu kecil, pertumbuhan cepat, dan kerapatan daun tinggi untuk menutup bidang dinding secara optimal [10][11][13].
3. Kriteria batasan beban struktural (*weight limit & dead load*): tanaman dibatasi pada jenis non-berkayu berat dengan akar serabut pendek agar aman terhadap struktur penopang saat media tanam jatuh air [6][13][14].
4. Kriteria kemudahan pemeliharaan dan manajemen hidrologi: tanaman harus tahan lama, mudah dirawat, dan daun tidak mudah rontok berlebihan, sesuai kebutuhan sistem irigasi tetes terjadwal [6][11].
5. Kriteria kapasitas kinerja biofilter gas (fitoremediasi mikro): khusus untuk area planter dekat laboratorium, tanaman harus mampu menyerap partikel debu dan gas amonia dari sisa aktivitas laboratorium perikanan [7][13][15].

Setiap kandidat vegetasi hasil wawancara diuji terhadap kelima kriteria tersebut untuk menentukan kombinasi tanaman final yang diterapkan pada tiga sistem penempatan: media rambat vertikal (*steel grating* dan kawat), *planter box* sedang, dan *planter box* kecil.

2.3 Pendekatan Perancangan

Perancangan instalasi *green façade* pada Gedung B Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro dilakukan dengan pendekatan perancangan yang didasarkan pada kondisi eksisting bangunan dan kebutuhan pengguna. Pendekatan ini digunakan untuk menghasilkan desain yang sesuai dengan karakter bangunan, kondisi lingkungan sekitar, serta tujuan perancangan yang telah ditetapkan. Dalam proses perancangan, data yang diperoleh dari observasi, wawancara, dan studi literatur digunakan sebagai dasar dalam menentukan sistem *green façade*, jenis vegetasi, struktur pendukung, dan sistem pengairan yang akan diterapkan. Selain itu, studi preseden juga digunakan untuk melihat penerapan *green façade* pada bangunan lain yang memiliki kondisi serupa. Melalui pendekatan tersebut, desain yang dihasilkan diharapkan dapat menjawab kebutuhan bangunan dari aspek kenyamanan termal, kualitas lingkungan, dan kualitas visual.



Gambar 3. Diagram Alur Metode Perancangan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perancangan instalasi *green façade* pada Gedung B Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro disusun berdasarkan hasil analisis kondisi eksisting bangunan, kajian *best practice*, studi literatur, dan wawancara intensif bersama narasumber ahli. Proses tersebut menghasilkan konsep desain yang berfokus pada peningkatan kenyamanan termal, kualitas lingkungan, dan kualitas visual bangunan. Konsep yang diterapkan meliputi pemilihan sistem *green façade*, struktur pendukung, vegetasi, media tanam, sistem irigasi, serta desain fasad secara keseluruhan. Setiap keputusan desain dirancang dengan mempertimbangkan kondisi eksisting bangunan dan kemudahan pemeliharaan dalam jangka panjang. Hasil perancangan tersebut dijelaskan pada subbab berikut.

3.1 Hasil Analisis Studi Literatur

Sintesis dari kajian literatur menghasilkan sejumlah parameter desain yang menjadi acuan perancangan *green façade* pada Gedung B FPIK: (1) sistem *indirect green façade* dipilih karena risiko kerusakan struktur akibat akar dan kelembapan lebih rendah dibanding sistem tempel langsung; (2) media tanam ringan berbasis *biochar* dan *cocopeat* dipilih untuk mengurangi beban struktur sekaligus menjaga keseimbangan retensi air-aerasi; (3) spesies vegetasi rambat dipilih dari kelompok tanaman pembelit (bukan akar pelekak) karena sistem menggunakan struktur kawat/kabel bantu; dan (4) sistem irigasi tetes otomatis dengan *timer* elektrik dipilih untuk presisi pasokan air tanpa risiko kerusakan dinding. Parameter-parameter inilah yang menjadi dasar bagi seluruh keputusan desain yang dijelaskan pada bagian 3.4–3.5. Hasil kajian literatur diterjemahkan langsung menjadi parameter desain sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil kajian literatur

Temuan Literatur	Parameter atau Kriteria Desain
Efek peneduhan dan evapotranspirasi vegetasi vertikal mampu menurunkan suhu permukaan dinding 3,2–7°C [16][17]	Sistem <i>green façade</i> dipilih sebagai strategi pasif penurunan suhu permukaan fasad
Vegetasi vertikal efektif menyaring debu dan partikel polusi serta menyerap CO ₂ [6][13]	Cakupan tutupan vegetasi diperluas pada seluruh sisi fasad yang terpapar jalan/parkir
Tanaman rambat perlu tangguh terhadap fluktuasi cuaca dan tumbuh cepat [9]	Kriteria seleksi spesies: adaptif iklim tropis, laju tumbuh tinggi
Kerapatan daun dan luas cakupan dinding menentukan efektivitas sistem [16]	Spesies dipilih berdasarkan kemampuan membentuk tutupan padat (<i>Epipremnum</i> , <i>Thunbergia laurifolia</i> , <i>Antigonon leptopus</i>)
Sistem tanpa struktur bantu cocok untuk tanaman akar pelekak (mis. famili Ivy); sistem berstruktur kabel/kawat cocok untuk tanaman pembelit seperti <i>Epipremnum aureum</i> / <i>Thunbergia grandiflora</i> [10]	Karena Gedung B FPIK menggunakan struktur rambatan (bukan tanaman menempel langsung), dipilih sistem <i>indirect green façade</i> dengan tanaman pembelit
Sistem <i>indirect</i> lebih aman bagi struktur inti bangunan dibanding sistem tempel langsung; media tanam dan akar dipusatkan di level lantai/horizontal [9][18]	Sistem IGF dipasang mengelilingi lantai 2 dan 3 membentuk koridor pemeliharaan horizontal
Media tanam ringan berbahan sekam bakar (<i>biochar</i>) direkomendasikan untuk mengurangi beban struktur dan menjaga aerasi-drainase [14][19]	Media tanam menggunakan campuran <i>biochar</i> dan <i>cocopeat</i> (1:1)
Irigasi tetes otomatis dengan pengatur waktu elektronik memberikan pasokan air presisi tanpa risiko rembesan yang merusak dinding [6]	Sistem irigasi tetes otomatis berbasis <i>rainwater harvesting</i> dengan <i>timer</i> elektrik

3.2 Hasil Analisis Kondisi Eksisting

Observasi pada 2–3 Maret 2026 mengidentifikasi tiga persoalan utama pada Gedung B FPIK:

1. Fasad depan memiliki bidang dinding yang menonjol ± 8 cm dibanding bidang sekitarnya sehingga permukaannya tidak rata dan kurang mendukung pemasangan struktur tambahan secara optimal bagian ini direncanakan dibongkar dan dimundurkan 8 cm untuk menciptakan bidang rata bagi pemasangan *green façade*.



Gambar 4. Kondisi Aktual Tampak Depan FPIK B UNDIP

2. Fasad samping kanan-kiri memiliki elemen roster pada lantai 2 dan 3 yang menghambat akses pemeliharaan; area ini direncanakan dibongkar sebagai jalur akses *maintenance*.



Gambar 5. Kondisi Aktual Tampak Samping FPIK B UNDIP

3. Area sekitar bangunan, khususnya area parkir sepeda motor di sisi bangunan, teridentifikasi tidak terstruktur sehingga menimbulkan kepadatan pada titik tertentu yang mengganggu aksesibilitas namun area bawahnya berpotensi dimanfaatkan sebagai lokasi peletakan tandon *underground* untuk sistem irigasi tanpa mengganggu tampilan fasad maupun aktivitas parkir.



Gambar 6. Kondisi Aktual Tampak Samping FPIK B UNDIP

Secara keseluruhan, fasad bangunan didominasi bidang dinding masif berwarna biru-kuning (identitas fakultas) yang monoton, dengan elemen penghijauan yang sangat minim sehingga berpotensi memperbesar efek *Urban Heat Island* pada bangunan berorientasi timur laut yang menerima paparan matahari langsung ini. Ketiga temuan observasi tersebut secara langsung menjadi dasar penentuan area intervensi: pembongkaran dinding depan, pembongkaran roster samping, dan pemanfaatan area parkir untuk sistem penunjang irigasi

3.3 Hasil Wawancara dan Proses *Screening* Vegetasi

Hasil wawancara pada aspek jenis tanaman menghasilkan sebelas kandidat awal vegetasi, yang direkomendasikan narasumber berdasarkan kemampuan adaptasi terhadap media vertikal, toleransi terhadap kondisi minim air, dan pertimbangan perbedaan kondisi cahaya-kelembapan antar lantai bangunan.

Tabel 2. Hasil Screening 11 Kandidat Vegetasi dari Wawancara terhadap 5 Kriteria Desain

No	Jenis Tanaman	Kategori	Alasan Screening (ringkas)	Status
1	Lee Kuan Yew (<i>Vernonia elliptica</i>)	Rambat	Tahan panas & angin, daun lebat efektif peneduh, akar tidak agresif (kriteria 1, 2, 4)	Terpilih (<i>planter</i> sedang)
2	Dolar	Rambat	Perawatan rendah, tapi cakupan daun kurang rapat untuk <i>shading index</i> optimal dibanding kandidat lain (kriteria 2)	Tidak terpilih
3	Epipremnum	Rambat	Akar lekat kuat pada substrat vertikal, adaptif segala kondisi cahaya, perawatan rendah (kriteria 1, 2, 4)	Terpilih (media rambat)
4	Bougenville	Rambat berkayu	Batang berkayu relatif berat, butuh pemangkasan rutin intensif, kurang sesuai kriteria beban struktural (kriteria 3)	Tidak terpilih
5	Azalea	Perdu	Membutuhkan media tanam asam khusus, tidak sesuai media <i>biochar/ cocopeat</i> standar yang ditetapkan (kriteria 4)	Tidak terpilih
6	Ixora (Bunga Soka)	Perdu	Butuh sinar matahari cukup dan nutrisi tinggi, kurang fleksibel untuk kondisi cahaya yang bervariasi antar lantai bangunan (kriteria 1)	Tidak terpilih
7	Iris (<i>Neomarica longifolia</i>)	Herba	Butuh media lembap namun tidak tergenang, kurang sesuai sistem irigasi tetes yang seragam pada seluruh titik <i>planter</i> (kriteria 4)	Tidak terpilih
8	Pakis Boston	Herba	Optimal pada kondisi teduh dan kelembapan tinggi, kurang sesuai untuk elevasi tinggi dengan paparan matahari langsung (kriteria 1)	Tidak terpilih
9	Wali Songo (<i>Schefflera arboricola</i>)	Perdu	Adaptif cahaya sedang-terang dan perawatan rendah, namun kalah kompetitif pada densitas kanopi dibanding kandidat lain (kriteria 2)	Tidak terpilih
10	Miana (<i>Coleus atropurpureus</i>)	Semak	Nilai estetika tinggi dari warna daun, tetapi kerapatan kanopi kurang optimal untuk fungsi peneduhan (kriteria 2)	Tidak terpilih
11	Kuping Gajah (<i>Anthurium crystallinum</i>)	Herba	Kebutuhan kelembapan tinggi kurang sesuai kondisi outdoor fasad yang terpapar matahari dan angin (kriteria 1)	Tidak terpilih

Dari sebelas kandidat hasil wawancara di atas, hanya *Lee Kuan Yew* dan *Epipremnum* yang lolos kelima kriteria desain dan diteruskan ke tahap desain final. Untuk melengkapi kebutuhan fungsi spesifik yang belum terpenuhi kandidat hasil wawancara, khususnya efek peneduhan tambahan pada cakupan fasad yang lebih luas (kriteria 2) dan fungsi biofilter gas dekat laboratorium (kriteria 5), ditambahkan lima spesies vegetasi lain (*Thunbergia laurifolia*, *Antigonon leptopus*, *Alternanthera bettzickiana*, *Portulaca grandiflora*, *Alternanthera sp.*, *Tradescantia spathacea*) yang diperoleh melalui studi literatur, bukan dari hasil wawancara dan diverifikasi terhadap kelima kriteria yang sama sebelum diterapkan pada desain.

Kombinasi tanaman final yang diterapkan adalah sebagai berikut:

Vegetasi rambat (sistem media rambat kawat/*steel grating*):

- *Epipremnum aureum*: dipilih karena akar lekat kuat pada substrat vertikal dan daya tahan tinggi terhadap cekaman air; kemampuan pendinginannya didukung oleh riset yang membuktikan tirai *double-skin façade* hayati berdaun rapat dapat menurunkan suhu dinding luar 3,2–13,1°C melalui efek peneduhan dan evapotranspirasi [11][12].
- *Thunbergia laurifolia*: dipilih karena kemampuan memanjat agresif dan kanopi daun lebat yang efektif menutup bidang fasad kosong serta berfungsi sebagai *wind barrier*, sejalan dengan temuan bahwa selubung hijau rapat tanpa celah efektif memotong beban pendinginan bangunan [10][13].

- *Antigonon leptopus*. dipilih karena struktur batang ringan dan sistem akar serabut pendek yang meminimalkan beban mati pada struktur tambahan, sesuai prinsip kontrol beban bangunan bertingkat [6][13][14].



Gambar 7. Vegetasi Rambat Terpilih

Vegetasi perdu (*planter box* sedang: *Lee Kuan Yew / Vernonia elliptica*): dipilih karena pola pertumbuhan menjuntai yang membentuk tirai daun alami untuk menahan sinar matahari langsung sekaligus menciptakan rongga udara pembatas, sejalan dengan prinsip kontrol panas dari sistem tirai vertikal [11][13].

Vegetasi perdu (*planter box* kecil: *Alternanthera bettzickiana*, *Portulaca grandiflora*, *Alternanthera* sp., *Tradescantia spathacea*): dipilih berdasarkan kemampuan menutup permukaan media tanam (mengurangi penguapan), ketahanan terhadap kondisi kering, serta khusus untuk *Tradescantia spathacea* yang ditempatkan pada area dekat laboratorium kemampuan menjadi biofilter aktif penangkap debu dan penyerap gas amonia sisa praktik laboratorium, sesuai kriteria kelima [7][15].



Gambar 8. Vegetasi Perdu Terpilih

Proses *screening* berbasis lima kriteria ini menunjukkan bahwa rekomendasi vegetasi hasil wawancara tidak diterapkan begitu saja, melainkan diverifikasi ulang secara ilmiah agar keputusan pemilihan vegetasi memiliki landasan akademis yang objektif, bukan semata rekomendasi praktis narasumber.

Pada aspek media tanam, wawancara menghasilkan rekomendasi penggunaan media non-tanah (sekam bakar/*biochar* dan *cocopeat* dengan rasio 1:1, diperkaya pupuk kandang terfermentasi) untuk mengurangi beban struktur sekaligus menjaga keseimbangan retensi air-aerasi sejalan dengan parameter literatur pada Tabel 2.1. Pada aspek sistem pengairan, narasumber merekomendasikan sistem irigasi tetes otomatis dengan pemanfaatan air hujan sebagai sumber utama untuk efisiensi penggunaan air bersih, yang kemudian diwujudkan sebagai sistem *rainwater harvesting* terintegrasi dengan *drip irrigation* bertimer elektrik. Pada aspek perawatan, narasumber merekomendasikan jadwal pemupukan berkala (pupuk lepas-lambat setiap ± 270 hari, pupuk cair NPK dua minggu sekali) dan pengecekan struktur penopang setiap enam bulan, yang menjadi dasar penyusunan rencana pemeliharaan pada desain akhir.

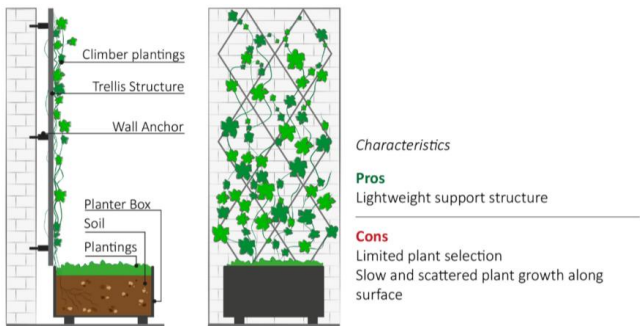
3.4 Kriteria dan Konsep Desain

Kondisi fasad Gedung B FPIK yang monoton, minim vegetasi, dan menerima paparan matahari langsung pada orientasi timur laut, sebagaimana diuraikan pada 3.1–3.3, menjadi titik tolak dalam merumuskan konsep desain. Temuan dari studi literatur dan hasil wawancara mengarahkan pada kebutuhan akan sistem yang aman bagi struktur eksisting sekaligus sesuai dengan karakter iklim tropis. Kebutuhan tersebut kemudian diterjemahkan menjadi lima kriteria *screening* vegetasi serta parameter desain sistem, struktur, dan irigasi sebagaimana dirumuskan pada Tabel 1 dan bagian 3.1. Berdasarkan kriteria-kriteria tersebut, ditetapkan pemilihan sistem *indirect green façade*, kombinasi vegetasi rambat dan perdu terpilih, struktur *steel grating*, serta sistem irigasi tetes otomatis sebagai strategi dan elemen desain yang diterapkan. Keseluruhan keputusan ini diarahkan untuk mencapai peningkatan kenyamanan termal, kualitas lingkungan,

dan karakter visual bangunan. Kelima elemen keputusan tersebut dijelaskan secara rinci pada sub-bab 3.4.1–3.4.5 berikut.

3.4.1 Konsep Sistem Green Facade

Konsep utama yang diterapkan pada redesain Gedung B FPIK Universitas Diponegoro adalah penggunaan sistem *Indirect Green Façade* (IGF), sesuai kriteria desain yang dirumuskan pada Tabel 1 dan bagian 2.3. Sistem ini dipilih karena mampu diterapkan pada bangunan eksisting tanpa mengubah struktur utama bangunan secara signifikan. Selain itu, IGF memungkinkan tanaman tumbuh pada struktur rambatan yang terpisah dari dinding sehingga risiko kerusakan fasad akibat akar maupun kelembapan dapat diminimalkan. Keberadaan vegetasi pada fasad juga berperan sebagai elemen peneduh yang membantu mengurangi penyerapan panas melalui proses peneduhan dan evapotranspirasi [6]. Pemilihan sistem ini sejalan dengan hasil kajian *best practice* yang menunjukkan bahwa IGF memiliki tingkat fleksibilitas dan kemudahan pemeliharaan yang lebih baik dibandingkan sistem vegetasi yang menempel langsung pada dinding bangunan [9].



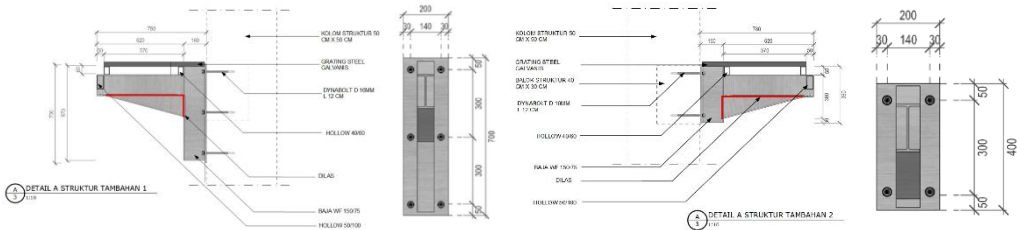
Gambar 9. Konsep *Indirect Green Façade*
Sumber: Dominici, et al

3.4.2 Struktur Tambahan

Penerapan sistem *green façade* didukung oleh struktur tambahan yang berfungsi sebagai media pertumbuhan vegetasi sekaligus jalur pemeliharaan tanaman. Struktur utama menggunakan *steel/ grating* selebar 78 cm yang dipasang mengelilingi bangunan pada lantai dua dan tiga sehingga membentuk koridor *maintenance* yang terhubung pada seluruh sisi fasad, struktur inilah yang menjawab persoalan akses pemeliharaan pada area roster yang dibongkar. Struktur tersebut ditopang oleh kombinasi besi *hollow galvanis* berukuran 40/100 mm dan 50/100 mm serta diperkuat baja IWF 150/75 mm pada beberapa titik utama.

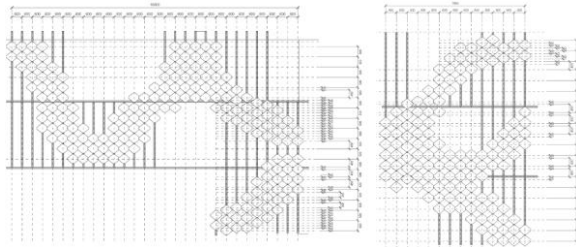


Gambar 10. Model 3D Struktur Tambahan

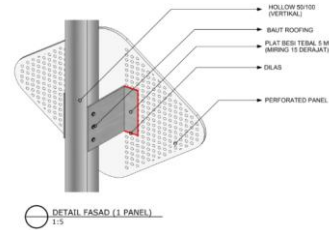


Gambar 11. Detail Struktur Tambahan

Pada area dinding yang tidak tertutup vegetasi, ditambahkan panel besi *perforated* sebagai elemen fasad pendukung, dirancang dengan pola repetitif menyerupai sisik ikan sebagai representasi identitas Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, elemen inilah yang menjawab kriteria "penguatan karakter visual" pada rumusan kriteria desain. Penggunaan *perforated* bertujuan mengurangi kesan monoton pada bidang dinding eksisting sekaligus menciptakan permainan cahaya dan bayangan yang membuat tampilan fasad lebih dinamis.



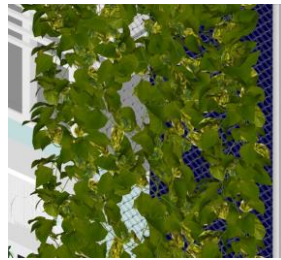
Gambar 12. Susunan Pola Fasad Sisik



Gambar 13. Detail Fasad Sisik

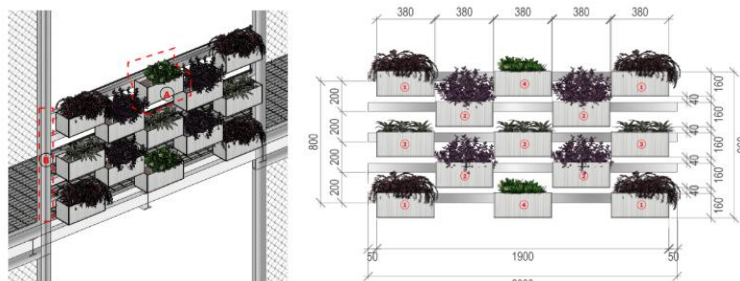
3.4.3 Implementasi Vegetasi

Implementasi *green façade* dibagi menjadi dua kelompok sesuai hasil *screening* pada 3.3: vegetasi rambat dan vegetasi perdu, ditempatkan sesuai karakteristik bidang fasad. Vegetasi rambat (*Epipremnum aureum*, *Thunbergia laurifolia*, *Antigonon leptopus*) diterapkan sebagai elemen peneduh utama memanfaatkan sistem teralis dari kombinasi besi *hollow* dan kawat galvanis. Sistem teralis dipasang vertikal mengikuti bidang fasad sehingga pertumbuhan vegetasi berlangsung terarah dan membentuk tutupan hijau merata.

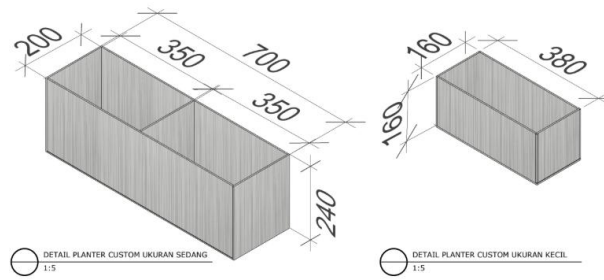


Gambar 14. Implementasi Vegetasi Rambat

Selain vegetasi rambat, diterapkan pula vegetasi perdu (*Alternanthera bettzickiana*, *Portulaca grandiflora*, *Alternanthera* sp., *Tradescantia spathacea*, dan *Lee Kuan Yew*) sebagai elemen pendukung yang meningkatkan kualitas visual fasad sekaligus memperkaya keragaman vegetasi. Vegetasi ditempatkan pada *planter* berbahan PVC yang dipasang pada struktur baja: pot berukuran 38×16×16 cm untuk kelompok pertama, dan pot 70×20×24 cm untuk *Lee Kuan Yew*. Media tanam menggunakan campuran *biochar* dan *cocopeat* (1:1) diperkaya pupuk kandang terfermentasi, sesuai hasil wawancara pada 3.3.



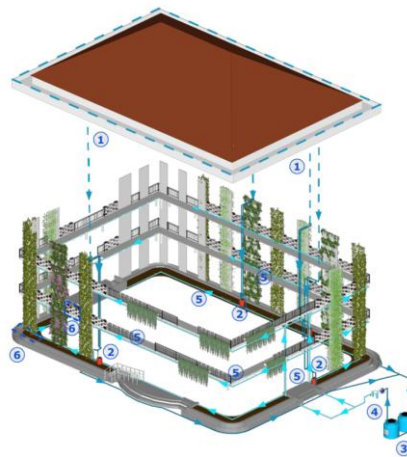
Gambar 15. Implementasi Vegetasi Perdu



Gambar 16. Perbandingan Planter Ukuran Sedang dan Kecil

3.4.4 Sistem Irigasi

Sistem irigasi memanfaatkan konsep *rainwater harvesting* yang diintegrasikan dengan sistem irigasi tetes otomatis, sesuai rekomendasi narasumber pada 3.3. Air hujan yang ditangkap atap bangunan dialirkan melalui empat titik talang menuju *rain diverter*, kemudian ke dua tandon bawah tanah berkapasitas 3.000liter yang diletakkan di bawah area parkir. Air dipompa melalui sistem bertimer elektrik otomatis, melewati filter sedimen dan *disc filter*, lalu didistribusikan melalui *PC emitter* berkapasitas 8 L/jam pada setiap titik *planter*.



Gambar 17. Skematik Sistem Irigasi

3.4.5 Desain Fasad Keseluruhan

Penerapan sistem *green façade* menghasilkan perubahan visual signifikan pada Gedung B FPIK. Vegetasi yang tumbuh pada bidang fasad membentuk lapisan peneduh yang mengurangi paparan sinar matahari langsung sekaligus meningkatkan kualitas visual bangunan. Kombinasi antara elemen vegetasi, struktur pendukung, dan pola rambatan menghasilkan tampilan fasad yang lebih dinamis tanpa menghilangkan karakter bangunan eksisting.



Gambar 18. Tampak Depan Redesain Gedung B FPIK UNDIP

3.5 Evaluasi Pencapaian dan Tujuan Perancangan

Sebagai penelitian perancangan dengan pendekatan kualitatif, evaluasi pencapaian tujuan pada studi ini tidak dilakukan melalui pengukuran atau simulasi kuantitatif langsung, melainkan melalui evaluasi triangulatif yang membandingkan spesifikasi desain terpilih terhadap (a) capaian kinerja spesies dan sistem sejenis yang telah diuji pada penelitian sebelumnya di iklim tropis serupa, dan (b) hasil proses *screening* lima kriteria pada 2.2 sebagai bentuk validasi ilmiah atas keputusan desain. Pendekatan ini konsisten dengan kategori Artikel Laporan Perencanaan/Perancangan pada JDLBI yang menitikberatkan pada penalaran pengambilan keputusan desain.



Gambar 19. Visualisasi *Render* Redesain Gedung B FPIK UNDIP

- a) Efek Peneduhan Spesies vegetasi rambat utama yang dipilih, *Epipremnum aureum*, ditetapkan berdasarkan referensi literatur yang mencatat kemampuan tirai vegetasi berdaun rapat sejenis menurunkan suhu dinding luar sebesar 3,2–13,1°C melalui efek peneduhan dan evapotranspirasi [11][12]. Karena kerapatan kanopi dan pola rambatan pada desain ini mengikuti karakteristik spesies yang diuji pada studi rujukan tersebut, efek peneduhan pada Gedung B FPIK diperkirakan berada pada rentang yang sebanding, meskipun besaran pastinya memerlukan pengukuran lapangan pascakonstruksi untuk verifikasi.
- b) Kualitas Lingkungan Perbandingan kondisi sebelum (hasil observasi 3.2: bidang fasad masif, vegetasi minim, area sekitar didominasi perkerasan) dan sesudah intervensi (cakupan *green façade* pada seluruh sisi bangunan) menunjukkan peningkatan signifikan pada proporsi elemen hijau bangunan. Secara spesifik, penempatan *Tradescantia spathacea* pada area planter dekat laboratorium dirancang untuk berfungsi sebagai biofilter aktif penangkap debu dan penyerap gas amonia dari aktivitas laboratorium perikanan sebuah kebutuhan kualitas lingkungan yang spesifik-konteks pada bangunan ini, bukan sekadar manfaat lingkungan generik.
- c) Karakter Visual Evaluasi karakter visual pada perancangan ini didasarkan pada kesesuaian konsep desain terhadap identitas Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan direpresentasikan melalui motif sisik ikan pada panel *perforated* serta prinsip biofilik yang mengintegrasikan elemen alami pada bangunan pendidikan. Penulis menyadari bahwa evaluasi ini masih berbasis penalaran desain dan masukan narasumber ahli (bidang lanskap dan agroekoteknologi), belum melibatkan persepsi langsung dari pengguna Gedung B FPIK (mahasiswa, dosen, tenaga kependidikan) sebagai kelompok yang paling relevan menilai keberhasilan karakter visual bangunan secara subjektif. Hal ini menjadi keterbatasan penelitian yang direkomendasikan untuk ditindaklanjuti melalui survei persepsi pengguna berbasis visualisasi desain pada tahap pengembangan atau penelitian lanjutan.

KESIMPULAN

Perancangan instalasi *green facade* pada Gedung B FPIK Universitas Diponegoro berhasil dirumuskan sebagai strategi desain pasif yang berkelanjutan untuk bangunan pendidikan di iklim tropis. Berdasarkan hasil perancangan dan kriteria desain yang telah ditetapkan, solusi arsitektural ini dinilai efektif dalam menjawab tujuan perancangan melalui tiga aspek utama:

1. Efektivitas Peneduhan Fasad: Penerapan sistem *Indirect Green Facade* dengan konfigurasi jarak koridor *maintenance* 78 cm secara arsitektural berfungsi sebagai kantong udara (*buffer zone*) yang

efektif menghalangi radiasi matahari langsung pada bidang masif timur laut tanpa mengorbankan bukaan sirkulasi udara alami.

2. Keberlanjutan Sistem Mikroklimat: Pemilihan vegetasi rambat rapat (*Epipremnum*, *Thunbergia laurifolia*, dan *Antigonon leptopus*) yang didukung oleh media tanam ringan serta irigasi tetes otomatis berbasis *rainwater harvesting* menjamin kontinuitas pertumbuhan vegetasi, yang secara berpotensi mengoptimalkan pendinginan evaporatif pada selubung bangunan.
3. Transformasi Karakter Visual: Integrasi elemen vegetasi vertikal dengan panel besi *perforated* bermotif sisik ikan berhasil memecahkan kemonotonan fasad beton eksisting sekaligus memperkuat identitas visual biofilik khas Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan.

Penelitian perancangan ini terbatas pada rumusan konfigurasi fisik arsitektural dan spesifikasi teknis instalasi. Pengujian performa penurunan suhu ruangan secara kuantitatif serta tingkat kenyamanan termal pengguna secara riil memerlukan simulasi perangkat lunak termal (*computational fluid dynamics*) atau observasi fisis lapangan pasca-konstruksi, yang disarankan sebagai fokus pada penelitian lanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Previari Umi Pramesti, S.T., M.Ars. dan Bapak Muhammad Ismail Hasan, S.T., M.T., Ph.D. atas arahan, masukan, dan bimbingan yang diberikan selama proses perancangan dan penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Direktorat Aset Universitas Diponegoro atas dukungan data bangunan yang digunakan dalam proses perancangan. Selain itu, penulis mengapresiasi Bapak Yayan dari SOCA Studio Bandung dan Bapak Fajrin Pramana Putra, S.P., M.Sc. dari Program Studi Agroekoteknologi Universitas Diponegoro yang telah berkontribusi sebagai narasumber dalam memberikan masukan terkait pemilihan vegetasi, media tanam, sistem irigasi, dan aspek pemeliharaan pada perancangan *green façade*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Widiarto, A. Adiwismono, E. Triyani, and J. Teknik Elektro Polines Jl Sudarto Tembalang Semarang, "Analisis Perancangan PLTS on Grid di Bengkel Listrik Politeknik Negeri Semarang," 2025.
- [2] Mariescha Mega Az Zahra, Q. Hasmaulia, M. R. Ash-Shidqi, and I. B. Mataburu, "Analisis Fenomena Urban Heat Island (UHI) Multitemporal dengan Google Earth Engine (GEE) Di Kota Semarang," *Jurnal Sains Geografi*, vol. 3, no. 2, pp. 125–136, Nov. 2025, doi: 10.21009/jsg.v3i2.05.
- [3] M. Adams, V. Burrows, and S. Richardson, "Bringing embodied carbon upfront," Sep. 2019. [Online]. Available: www.worldgbc.org/embodied-carbon
- [4] A. Pacini, H. G. Edelmann, J. Großschedl, and K. Schlüter, "A Literature Review on Facade Greening: How Research Findings May Be Used to Promote Sustainability and Climate Literacy in School," Apr. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/su14084596.
- [5] S. Berrabah, M. O. Moussa, and M. Bakhouya, "3d modeling of the thermal transfer through precast buildings envelopes," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 13, Jul. 2021, doi: 10.3390/en14133751.
- [6] T. Jeyasurya, C. S. Ranjith Kumar, P. I. Vethamoni, K. Sivasubramanian, and M. Djanaguiraman, "Green horizons: Exploring the potential of vertical green walls," 2024, *Horizon e-Publishing Group*. doi: 10.14719/pst.4814.
- [7] M. Kraus, I. J. Senitkova, J. Zak, and A. Kankovsky, "Integration of Green Roofs and Facades as a Climate Change Adaptation Strategy: Environmental, Energy, and Microclimatic Aspects," *Inzynieria Mineralna*, vol. 2, no. 2, Jan. 2025, doi: 10.29227/IM-2025-02-02-093.

- [8] R. Widiastuti, J. Zaini, and W. Caesarendra, "Field measurement on the model of green facade systems and its effect to building indoor thermal comfort," *Measurement (Lond)*, vol. 166, 2020, doi: 10.1016/j.measurement.2020.108212.
- [9] G. D. C. Jayakody, K. G. N. H. Weerasinghe, G. Y. Jayasinghe, and R. U. Halwatura, "Economical sustainability of vertical greeneries in tropical climate," *Energy Build.*, vol. 299, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113580.
- [10] S. S. Nagdeve, S. Manchanda, and A. Dewan, "Thermal performance of indirect green façade in composite climate of India," *Build. Environ.*, vol. 230, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.buildenv.2023.109998.
- [11] S. Charoenkit, S. Yiemwattana, and N. Rachapradit, "Plant characteristics and the potential for living walls to reduce temperatures and sequester carbon," *Energy Build.*, vol. 225, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110286.
- [12] U. K. Priya and R. Senthil, "Passive cooling of residential buildings in tropical climates using user-preferred plant species in green walls," *Journal of Building Engineering*, vol. 107, Aug. 2025, doi: 10.1016/j.jobbe.2025.112732.
- [13] C. I. Seyrek Şık and B. Widera, "Impact of vertical green façades on urban heat island mitigation and outdoor air quality," *Energy Build.*, vol. 352, Feb. 2026, doi: 10.1016/j.enbuild.2025.116784.
- [14] X. Shu *et al.*, "Influence of façade orientation, floor height, substrate pH, and microbial inoculation on woody plants' performance in vegetated façades in Southern Finland," *Urban For. Urban Green.*, vol. 94, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.ufug.2024.128280.
- [15] A. R. Virginia, A. S. Yuwono, and C. Arif, "Closed-House Biofilter Design and Performance Evaluation for Mitigating Environmental Odor Disturbances," *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, vol. 14, no. 2, pp. 165–176, 2024, doi: 10.46604/ijeti.2023.12851.
- [16] R. Bakhshoodeh, C. Ocampo, and C. Oldham, "Thermal performance of green façades: Review and analysis of published data," Mar. 01, 2022, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.rser.2021.111744.
- [17] R. Bakhshoodeh, C. Ocampo, and C. Oldham, "Exploring the evapotranspirative cooling effect of a green façade," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 81, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.scs.2022.103822.
- [18] A. Morsi and N. A. Elian, "The Vertical Greenery Systems Significant Role in Achieving Better Architectural and Urban Thermal Performance," *MEJ Mansoura Engineering Journal*, vol. 46, no. 2, 2021, doi: 10.21608/bfemu.2021.188836.
- [19] M. De Lucia, A. Treves, and E. Comino, "Rice husk and thermal comfort: Design and evaluation of indoor modular green walls," *Developments in the Built Environment*, vol. 6, May 2021, doi: 10.1016/j.dibe.2021.100043.