

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Green Façade

Green façade diartikan sebagai suatu sistem *green facade* di mana tanaman dikondisikan untuk tumbuh merambat menutupi selubung luar bangunan dengan media tanam utama yang terpusat di bagian dasar atau tanah (Jeyasurya et al., 2024). *Green facade* melibatkan tanaman merambat yang tumbuh langsung di dinding atau ditopang oleh struktur yang dirancang khusus. Bahan pendukung seperti rangka berdiri bebas, pot atau wadah, kait, kawat, tiang, dan sangkar digunakan untuk *green facade*. Tanaman ini berakar di tanah, dengan sistem tunasnya tumbuh vertikal di sepanjang permukaan bangunan (De Lucia et al., 2021). Secara teknis arsitektural, sistem ini diklasifikasikan ke dalam dua tipologi utama, yaitu tipe langsung (*direct green façade*) dan tipe tidak langsung (*indirect green façade*) (Bakhshoodeh, Ocampo & Oldham, 2022). Tipe langsung mengondisikan tanaman untuk tumbuh dan menempel secara mandiri pada permukaan material dinding luar (Morsi & Elian, 2021). Sementara itu, tipe tidak langsung sengaja menggunakan media penunjang tambahan untuk memisahkan struktur tanaman dari dinding inti bangunan. Pembagian jarak pada tipe tidak langsung ini berfungsi untuk memunculkan rongga udara (*gap layer*) dinamis yang memisahkan jalinan daun dengan material masif selubung luar bangunan (Bakhshoodeh et al., 2022b). Penerapan teknologi ini dinilai sangat efisien untuk area perkotaan karena mampu memberikan pasokan elemen hijau ekologis pada area tapak yang sangat terbatas tanpa harus mengonsumsi luasan lahan horizontal (Morsi & Elian, 2021).

2.1.1 Manfaat Green Façade

Pada skala kota, *Green facade* memainkan peran penting dalam mengatasi efek Pulau Panas Perkotaan, di mana daerah perkotaan yang padat penduduk mengalami suhu yang jauh lebih tinggi daripada zona pedesaan di sekitarnya (Morsi & Elian, 2021). Perbedaan suhu antara daerah perkotaan dan pedesaan ini telah didokumentasikan antara 5 dan 7°C di kota-kota padat penduduk, yang disebabkan oleh prevalensi material bangunan berwarna gelap, penggantian permukaan bervegetasi dengan infrastruktur beraspal, dan panas yang dihasilkan oleh aktivitas manusia (Bakhshoodeh et al., 2022b).

Proses evapotranspirasi tanaman merambat pada fasad bangunan mengurangi suhu udara sekitar di lingkungan terdekat bangunan, berkontribusi pada pendinginan iklim mikro perkotaan yang lebih luas (Jeyasurya et al., 2024). Sebuah studi pemodelan yang dikutip oleh Morsi dan Zakaria (2021) menemukan bahwa penghijauan fasad dan atap bangunan di lembah perkotaan khas di Hong Kong dapat mengurangi suhu udara lembah hingga 8 hingga 9°C. Karena kawasan Timur Tengah dan Afrika Utara merupakan salah satu lingkungan perkotaan yang paling rentan terhadap perubahan iklim di dunia, dengan ibu kota yang mengalami empat bulan hari yang sangat panas setiap tahunnya, penerapan *Green facade* dalam konteks ini dianggap sangat penting untuk mengurangi peningkatan panas di luar ruangan dan mengurangi efek pulau panas perkotaan.

Green facade berkontribusi pada peningkatan kualitas udara di lingkungan perkotaan melalui penyaringan fisik partikel oleh daun tanaman dan penyerapan biokimia polutan gas (Jeyasurya et al., 2024). Daun dan sistem akar tanaman merambat menjebak gas buang dan partikel debu di udara, sementara fotosintesis memungkinkan tanaman untuk menyerap karbon dioksida dan melepaskan oksigen secara terus menerus sepanjang hari. Sistem hijau vertikal telah didokumentasikan untuk menyaring polutan udara kimia termasuk sulfur dioksida, karbon monoksida, nitrogen dioksida, dan senyawa organik volatil dari lingkungan dalam dan luar ruangan (Morsi & Elian, 2021). Penelitian yang ditinjau oleh Jeyasurya dkk. (2024) menunjukkan bahwa 155 meter persegi luas permukaan tanaman dapat menghasilkan oksigen yang cukup untuk menopang satu orang selama dua puluh empat jam, dan bahwa satu meter persegi tutupan hijau dapat menghilangkan sekitar 0,2 kilogram partikel di udara setiap tahunnya. Di lingkungan perkotaan padat di mana polusi udara dari lalu lintas dan aktivitas industri merupakan masalah kesehatan masyarakat yang terus-menerus, kapasitas pemurnian udara kumulatif dari *green facade* di berbagai bangunan merupakan kontribusi yang berarti terhadap kualitas lingkungan perkotaan.

Green facade memberikan pengurangan kebisingan yang terukur dengan menyerap, membiaskan, dan memantulkan gelombang suara yang seharusnya ditransmisikan langsung melalui permukaan bangunan yang keras (Morsi & Elian, 2021). Tidak seperti beton atau kaca, yang sangat reflektif terhadap suara, permukaan dedaunan dan media tanam yang tidak beraturan dan berpori mengganggu gelombang suara dan

mengubah energi akustik menjadi panas melalui gesekan, mengurangi transmisi kebisingan baik ke dalam bangunan maupun di lingkungan luar sekitarnya (Jeyasurya et al., 2024). Penelitian yang dilakukan di Hort Park di Singapura yang mengukur kinerja akustik sistem *green facade* menemukan bahwa vegetasi mencapai beberapa nilai koefisien penyerapan suara tertinggi dibandingkan dengan bahan bangunan standar. Tingkat isolasi suara dinding bervegetasi dipengaruhi oleh spesies tanaman yang digunakan, kedalaman media tanam, bahan struktur sistem, dan lebar rongga udara antara vegetasi dan permukaan dinding (Morsi & Elian, 2021). Koefisien penyerapan suara pada sistem *green facade* juga meningkat pada frekuensi yang lebih tinggi, artinya sistem ini sangat efektif dalam mengurangi kebisingan frekuensi tinggi yang merupakan ciri khas lingkungan lalu lintas perkotaan (Jeyasurya et al., 2024).

2.1.2 Vegetasi pada *Green Façade*

Kunci utama yang menentukan optimalnya performa lingkungan dan keberlanjutan hidup sistem *green façade* berada pada ketepatan pemilihan karakteristik biologis dari spesies tanaman merambat yang digunakan (Jayakody et al., 2023). Secara umum, vegetasi yang dipilih harus berasal dari kelompok tanaman memanjat (*climbing plants*) yang memiliki laju pertumbuhan lateral maupun vertikal yang relatif cepat (Jeyasurya et al., 2024). Faktor utama dari tanaman yang paling penting untuk diperhatikan adalah tingkat rimbunnya dedaunan serta seberapa luas permukaan dinding bangunan yang bisa tertutupi oleh tanaman tersebut (Bakhshoodeh et al., 2022a). Daun-daun yang tumbuh saling menumpuk secara rapat akan menghasilkan indeks pembayangan yang optimal, sehingga radiasi matahari tidak memiliki celah untuk menyentuh permukaan dinding bangunan (Bakhshoodeh et al., 2022b). Selain itu, faktor morfologi seperti ketebalan kutikula daun dan orientasi stomata juga sangat memengaruhi kapasitas tanaman dalam mempertahankan laju transpirasi air saat terpapar terik matahari ekstrem (Bakhshoodeh et al., 2022a)

Dalam penentuan jenis tanaman, pemilihan spesies spesifik yang adaptif sangat krusial untuk diselaraskan dengan tipe mekanis perambatan eksternal bangunan (Jayakody et al., 2023). Spesies *Thunbergia grandiflora* merupakan jenis tanaman merambat berbunga lebat yang sangat direkomendasikan pada iklim tropis komposit karena memiliki ketahanan biologis tinggi dan laju transpirasi daun yang optimal untuk

melembabkan iklim mikro (Nagdeve et al., 2023). Untuk varietas penutup dinding vertikal yang populer dan memiliki kemudahan perawatan tinggi di area perkotaan, penggunaan tanaman *Epipremnum aureum* (Sirih Gading) terbukti sangat efektif menghasilkan cakupan hijau yang rapat dan konsisten (Priya & Senthil, 2025). Sementara itu, kelompok tanaman merambat berkayu (*woody climbers*) seperti *Parthenocissus tricuspidata* atau varietas *Hedera helix* sering digunakan pada tipe langsung karena memiliki organ pencengkeram alami berupa akar pelekat atau sulur penempel untuk mencengkeram material bata secara mandiri (Shu et al., 2024). Penerapan kombinasi spesies tanaman lokal yang adaptif ini menjadi langkah preventif yang penting guna meminimalkan risiko kematian tanaman massal serta menekan biaya pemeliharaan berkala (Jayakody et al., 2023).

2.1.3 Utilitas pada *Green Façade*

Sistem utilitas yang mendukung jalannya teknologi *green façade* dirancang jauh lebih praktis, sederhana, dan ramah biaya jika dibandingkan dengan sistem *green facade* vertikal lainnya (Jayakody et al., 2023). Hal ini dikarenakan seluruh sirkulasi pertumbuhan dan penyerapan unsur hara akar tanaman tetap terpusat di area dasar tapak horizontal bangunan (Morsi & Elian, 2021). Komponen utilitas utama pada lantai dasar melibatkan penyediaan wadah pot kompartemen bawah (*planter boxes*) atau parit penanam khusus dengan volume media yang cukup tanpa menggunakan tanah konvensional (Bakhshoodeh et al., 2022a). Wadah penanam di dasar ini dikondisikan dengan lapisan filter geotekstil serta campuran media tanam buatan yang ringan berupa kombinasi sekam bakar dan bahan organik pendukung. Penggunaan sekam bakar ini berfungsi secara mekanis untuk menjaga sistem drainase bawah tetap optimal, mengontrol tingkat keasaman substrat, serta mengalirkan kelebihan sisa air pengairan secara efisien (Shu et al., 2024).

Pada perancangan tipe tidak langsung, utilitas arsitekturalnya melibatkan integrasi material penunjang mekanis eksternal seperti jaring kawat baja anti karat (*stainless steel wire-mesh*), kisi-kisi ringan, atau anyaman kabel vertikal (*trellises*). Jaringan struktur kabel penopang ini harus dipasang secara rigid menggunakan jangkar logam dengan jarak aman minimal 150 mm dari permukaan luar dinding inti bangunan guna menciptakan celah udara ventilasi yang ideal (Bakhshoodeh et al., 2022a). Dari sektor pengairan,

sistem utilitas modern umumnya mengadopsi teknologi irigasi tetes otomatis (*drip irrigation*) yang dihubungkan dengan alat pengukur waktu (*timer*) elektronik. Saluran pipa irigasi mikro ditempatkan secara rapi di sepanjang permukaan wadah pot dasar guna mendistribusikan air dan pupuk cair secara presisi langsung ke zona perakaran. Pengaturan utilitas irigasi yang terkontrol pada media sekam bakar ini sangat krusial untuk menjaga stabilitas kelembaban secara berkelanjutan, sekaligus mencegah adanya risiko kebocoran atau rembesan air yang dapat merusak kekuatan struktural dinding beton bangunan (Jeyasurya et al., 2024).

2.1.4 Studi Kasus *Green Façade*

2.1.4.1 Studi Kasus pada Bangunan Palazzo Agostini, Pisa, Italia

Penelitian berjudul "*Green Systems Integrated to the Building Envelope: Strategies and Technical Solution for the Italian Case*" yang ditulis oleh Giovanni Santi, Angelo Bertolazzi, Emanuele Leporelli, Umberto Turrini, dan Giorgio Croatto. Artikel ilmiah ini diterbitkan pada tahun 2020 sebagai sebuah studi yang mendalam mengenai integrasi sistem hijau pada selubung bangunan. Lokasi penelitian ini berfokus pada konteks nasional Italia, dengan penekanan khusus pada penerapan teknik *retrofitting* untuk bangunan-bangunan warisan budaya (*heritage buildings*). Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis berbagai sistem penghijauan terintegrasi (*Greenery Systems Integrated* atau GSI) sebagai strategi untuk mengatasi masalah lingkungan perkotaan yang krusial. Melalui pendekatan teknis ini, para peneliti berusaha memberikan solusi praktis agar bangunan bersejarah di Italia dapat memenuhi standar keberlanjutan modern tanpa mengorbankan integritas strukturalnya. (Santi et al., 2020)

Eksperimen arsitektural pada bangunan bersejarah ini menerapkan dua sistem utama, yaitu atap hijau (*green roof*) ekstensif dan *green facade* (*living wall*) modular berbasis hidroponik yang didukung oleh sub-struktur logam ringan. Sistem utilitas yang diimplementasikan mencakup jaringan irigasi tetes otomatis (*drip irrigation*) terintegrasi yang terhubung dengan sensor kelembaban tanah, serta sistem manajemen limpasan air hujan (*stormwater management*) untuk mengurangi beban saluran pembuangan kota. Pemilihan material sangat memperhatikan aspek pelestarian lingkungan historis, di mana panel modular

menggunakan bahan daur ulang yang dilapisi membran kedap air berbahan polimer elastis guna melindungi dinding bata kuno peninggalan abad pertengahan tersebut dari kerusakan struktural akibat rembesan air atau kelembaban berlebih. Kombinasi vegetasi yang dipilih didominasi oleh tanaman tangguh berjenis *Sedum album*, *Sedum acre*, serta beberapa herba lokal bertipe xerofit yang memiliki daya tahan tinggi terhadap kekeringan dan tidak membutuhkan perawatan intensif. Implementasi teknologi hijau pada struktur cagar budaya Italia ini memberikan manfaat mikro-klimat yang luar biasa, di antaranya mereduksi fluktuasi termal pada dinding luar, menurunkan konsumsi energi pendingin ruangan di musim panas, menciptakan isolasi akustik, serta menyaring materi polutan berbahaya di udara sekitar kawasan padat. (Santi et al., 2020)



Gambar 2.1 *Green roof* Palazzo Agostini in Pisa

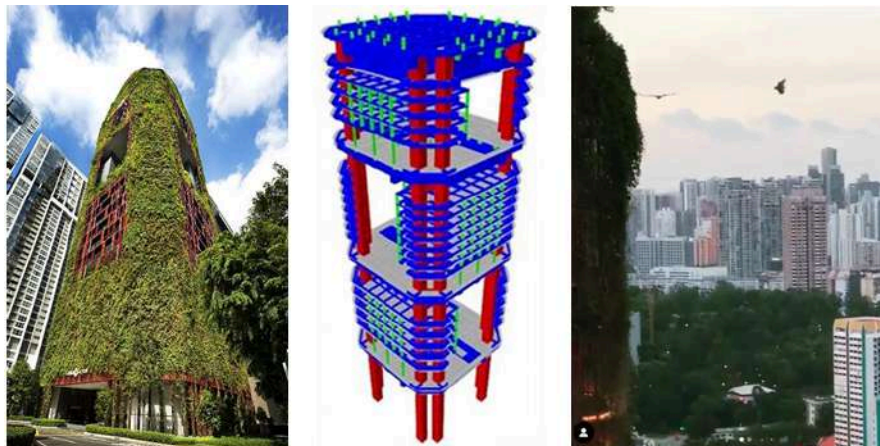
Sumber: Santi, et al

2.1.4.2 Studi Kasus pada Gedung *Oasia Downton* dan *The Interlace*, Singapura

Penelitian yang dilakukan oleh Sanjaya et al. (2020) secara spesifik mengambil lokus studi kasus pada arsitektur bangunan bentang alam vertikal modern yang berada di wilayah Singapura. Pemilihan Singapura sebagai pusat orientasi kasus didasarkan pada keberhasilan negara kota tersebut dalam menerapkan regulasi *eco-architecture* serta mentransformasikan konsep kota dari *Garden City* menjadi *City in a Garden*. Melalui jurnal ini, para peneliti mengevaluasi bagaimana integrasi teknologi selubung hijau vertikal (*green envelope system*) pada bangunan bertingkat tinggi di Singapura mampu bertindak sebagai solusi rancang yang visioner. Pendekatan arsitektural ini tidak hanya berfokus pada estetika visual semata, melainkan juga mengkaji secara mendalam

bagaimana rekayasa struktur hijau mampu mengembalikan ekosistem hayati yang sempat hilang akibat masifnya pembangunan infrastruktur perkotaan. Di dalam jurnal ini, evaluasi ditekankan pada dua objek arsitektural ikonik berskala global yang merepresentasikan tipologi hunian dan komersial berpola hijau berkelanjutan, yaitu *Oasia Downtown* dan Kompleks Hunian *The Interlace*. (Sanjaya et al., 2020)

Studi kasus pertama berfokus pada *Oasia Downtown*, sebuah kompleks menara vertikal yang dirancang oleh biro arsitek WOHA di kawasan pusat bisnis Singapura. Bangunan ini mengintegrasikan teknologi *Green facade* (*green façade*) yang menyelimuti selubung luar bangunan serta dilengkapi dengan sistem berlapis berupa taman gantung (*sky gardens*) yang berfungsi sebagai beranda perkotaan (*urban verandah*). Ditinjau dari aspek utilitas dan efisiensi termal, keberadaan lapisan taman gantung dan *Green facade* terintegrasi ini dirancang secara masif hingga berhasil mencapai nilai rasio plot hijau (*Green Plot Ratio / GPR*) yang luar biasa, yaitu sebesar 750%. Area *sky gardens* sendiri mengkonsumsi hampir 60% dari total volume bangunan, sehingga menciptakan struktur vertikal menyerupai tebing alam yang mampu memberikan naungan pasif sekaligus menjamin kenyamanan termal di dalam ruangan (*indoor thermal comfort*).



Gambar 2.2 Oasia Downtown Hotel
Sumber: Sanjaya, et al

Studi kasus kedua mengkaji kompleks hunian vertikal *The Interlace* di Singapura, sebuah proyek perumahan berskala besar yang dirancang oleh biro arsitek asal Belanda, OMA. Berbeda dengan menara tunggal konvensional, arsitektur bangunan ini menerapkan konsep blok hunian modular yang disusun saling silang dan bertumpuk di atas beberapa level lantai bangunan. Dari segi fungsionalitas dan utilitas, susunan blok yang unik ini sengaja dirancang untuk menciptakan ruang-ruang terbuka baru berskala besar di area ketinggian yang dimanfaatkan sebagai taman atap (*roof gardens*). Pemanfaatan material dek beton bertingkat sebagai ruang vegetasi bertindak sebagai elemen kompensasi hijau (*compensation of the built ground*) yang menggantikan area tanah alami yang tertutup oleh tapak pondasi bangunan bawah. Melalui pengintegrasian ruang terbuka hijau vertikal di setiap tingkat jalinan blok hunian ini, *The Interlace* berhasil menawarkan pendekatan arsitektur ekologis yang seimbang, di mana kebutuhan area tinggal manusia yang padat dapat berjalan selaras dengan penyediaan ruang hidup yang sehat bagi kelestarian alam perkotaan.



Gambar 2.3 *The Interlace*, Singapura

Sumber: ArchDaily

2.1.4.3 Studi Kasus pada Gedung Kampus VŠB-Technical University of Ostrava, Republik Ceko

Penelitian berjudul "Integration of Green Roofs and Facades as a Climate Change Adaptation Strategy: Environmental, Energy, and Microclimatic Aspects" yang disusun oleh Michal Kraus, Ingrid Juhasova Senitkova, Jaroslav Zak, dan Ales Kankovsky. Studi ini dipublikasikan pada tahun 2025 dalam *Journal of the Polish Mineral Engineering Society*. Lokasi penelitian ini berfokus pada sebuah bangunan pada Gedung Kampus VŠB-Technical University of Ostrava, Republik

Ceko. Penelitian ini bertujuan untuk menguji bagaimana integrasi atap hijau dan *Green facade* dapat berfungsi sebagai strategi adaptasi perubahan iklim di lingkungan perkotaan. Melalui studi kasus ini, peneliti mengevaluasi aspek lingkungan, energi, dan mikroklimatik dari penerapan sistem vegetasi pada selubung bangunan. (Kraus et al., 2025)



Gambar 2.4 Kampus *VŠB-Technical University of Ostrava*

Sumber: VSB

Sistem *Green facade* yang diteliti menggunakan solusi modular *hydroponic green wall* dari perusahaan LIKO-S yang dikenal sebagai sistem BioTile. Sistem ini bekerja dengan menggunakan panel vegetatif yang diisi dengan wol mineral hidrofilik sebagai media tanam, yang memastikan distribusi air dan nutrisi yang merata bagi tanaman. Jenis tanaman yang dipilih untuk fasad ini adalah spesies yang tahan kekeringan (*drought-tolerant plant species*) yang sangat sesuai untuk lingkungan perkotaan yang menuntut perawatan rendah. Selain *Green facade*, penelitian ini juga menguji atap hijau ekstensif yang menggunakan hamparan vegetasi sedum (*sedum mat*) dengan ketebalan substrat sekitar 80 mm. Kombinasi teknologi BioTile pada dinding dan sistem atap sedum dipilih karena fleksibilitas serta kemampuannya beradaptasi dengan geometri bangunan yang beragam. (Kraus et al., 2025)

Implementasi atap dan *Green facade* dalam penelitian ini memberikan berbagai manfaat signifikan bagi kinerja bangunan dan lingkungan sekitarnya. Pertama, sistem vegetasi ini meningkatkan insulasi termal dengan mengurangi perpindahan panas melalui selubung bangunan, yang pada akhirnya menurunkan kebutuhan energi untuk pemanasan di musim dingin dan pendinginan di musim panas. Kedua, tanaman berperan dalam menyerap radiasi matahari dan

mendinginkan udara sekitar melalui proses evapotranspirasi, yang efektif dalam memerangi efek pulau panas perkotaan (*urban heat island*). Ketiga, sistem ini membantu pengelolaan air hujan dengan menahan air dan memperlambat aliran limpasan, sehingga mengurangi tekanan pada sistem drainase kota. Terakhir, keberadaan tanaman di perkotaan membantu memperbaiki kualitas udara dengan menangkap materi partikulat serta menyerap polutan seperti karbon dioksida dan nitrogen oksida, sekaligus meningkatkan keanekaragaman hayati. (Kraus et al., 2025)

2.1.4.4 Studi Kasus pada Gedung FNP Headquarters, Polandia dan Bangunan Residen GreenONE, Jerman

Penelitian berjudul "*Impact of vertical green façades on urban heat island mitigation and outdoor air quality*" yang ditulis oleh Cansu Iraz Seyrek Şık dan Barbara Widera. Artikel ilmiah ini dipublikasikan pada tahun 2026 dalam jurnal *Energy & Buildings*. Lokasi penelitian mencakup beberapa wilayah di Eropa Tengah yang memiliki iklim samudera sedang (Cfb) dan benua lembap (Dfb). Secara spesifik, studi dilakukan pada lima bangunan yang tersebar di kota-kota seperti Warsawa dan Wrocław di Polandia, serta Nordhausen dan Moers di Jerman. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengukur efektivitas *Green facade* vertikal (*vertical green façades* atau VGF) dalam mengurangi efek *urban heat island* (UHI) dan meningkatkan kualitas udara di lingkungan perkotaan. (Seyrek Şık & Widera, 2026)



Gambar 2.5 *Foundation for Polish Science (FNP) Headquarters, Warsaw, Polandia*

Sumber: Seyrek & Widera



Gambar 2.6 *GreenONE Residential Building*, Nordhausen, Jerman

Sumber: Seyrek & Widera

Penelitian ini mengamati berbagai jenis sistem hijau vertikal yang dikategorikan menjadi *living walls* (dinding hidup) dan *green façades* (*Green facade* langsung). Pada Kasus 1, digunakan tanaman *Heuchera mic.* 'Palace purple' dan *Waldsteina ternate*, sementara Kasus 2 menggunakan perpaduan *Hedera helix* dan *Hedera colchica*. Kasus 3 memanfaatkan *Vinca minor* 'Periwinkle' dan *Hedera helix* sebagai elemen vegetasi utamanya. Kasus 4 menggunakan *Bergenia cordofolia* serta *Ajuga reptans*, dan Kasus 5 menggunakan *Bergenia cordofolia* bersama *Geranium sanguineum* 'Max Frei'. Variasi jenis tanaman dan sistem struktur ini dipilih untuk mencakup berbagai kondisi lingkungan mikro dan iklim yang berbeda dalam pengaturan perkotaan yang nyata. (Seyrek Şık & Widera, 2026)

Manfaat utama dari penggunaan *Green facade* vertikal yang ditemukan dalam studi ini adalah kemampuannya dalam menurunkan suhu permukaan bangunan secara signifikan, terutama selama musim panas. *Living walls* tercatat mampu mengurangi suhu permukaan hingga 13,7°C, sedangkan *green façades* berhasil menurunkan suhu hingga 13,1°C. Selain manfaat termal, sistem hijau ini juga terbukti berkontribusi dalam perbaikan kualitas udara dengan menurunkan konsentrasi materi partikulat, yaitu rata-rata reduksi sebesar 1,04 µg/m³ untuk PM2.5 dan 2,05 µg/m³ untuk PM10. Selama musim dingin, *Green facade* juga menunjukkan potensi dalam meningkatkan efisiensi energi dengan mengurangi kebutuhan pemanasan bangunan berkat efek isolasi termal yang dihasilkan oleh dedaunan. Secara keseluruhan, temuan ini menekankan bahwa integrasi desain *Green facade* yang tepat, didukung oleh irigasi dan perawatan yang memadai,

merupakan strategi yang efektif untuk mendukung resiliensi perkotaan. (Seyrek Şık & Widera, 2026)

2.1.4.5 Studi Kasus Pemodelan Tipologi Dinding Tropis, Colombo, Sri Lanka

Penelitian berjudul "*Economical sustainability of vertical greeneries in tropical climate*" ditulis oleh G.D.C. Jayakody, K.G.N.H. Weerasinghe, G.Y. Jayasinghe, dan R.U. Halwatura. Studi ini dipublikasikan pada tahun 2023 di jurnal *Energy & Buildings*. Lokasi penelitian dilakukan di Colombo, Sri Lanka, yang merupakan wilayah beriklim tropis dengan kelembaban tinggi. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengisi kekosongan data mengenai manfaat ekonomi dari berbagai sistem *green facade* yang belum banyak dievaluasi sebelumnya. Para peneliti melakukan analisis biaya-manfaat (*Cost-Benefit Analysis* atau CBA) untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi dari berbagai sistem penghijauan yang diteliti. (Jayakody et al., 2023)

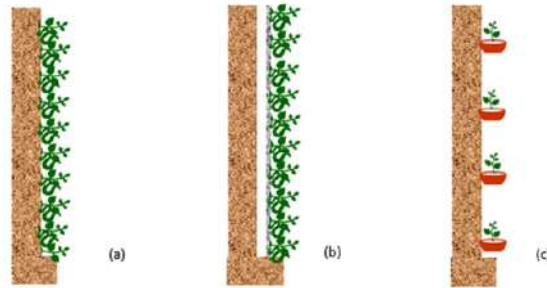


Gambar 2.7 Pemodelan Tipologi Dinding Tropis

Sumber: Jayakody, et al

Penelitian ini mengevaluasi tiga jenis sistem *green facade*, yaitu *Direct Green Façade* (DGF), *Indirect Green Façade* (IGF), dan *Living Wall System* (LWS). Tanaman yang digunakan sebagai subjek dalam studi validasi simulasi adalah spesies *Thunbergia laurifolia*. Dalam proses analisis, tim peneliti menggunakan perangkat lunak Design Builder untuk melakukan simulasi termal bangunan guna mengukur manfaat efisiensi pendinginan. Data biaya instalasi dan pemeliharaan dikumpulkan dari enam perusahaan konstruksi di Sri Lanka untuk

mendapatkan gambaran ekonomi yang akurat sesuai kondisi pasar lokal. Sistem ini dibandingkan berdasarkan beberapa indikator ekonomi utama seperti *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Payback Period* (PBP), dan *Benefit-Cost Ratio* (BCR). (Jayakody et al., 2023)



Gambar 2.8 Jenis *Green facade*

Sumber: Jayakody, et al

Manfaat utama dari penerapan sistem *green facade* dalam penelitian ini meliputi peningkatan kualitas lingkungan perkotaan dan peningkatan kenyamanan termal. Sistem ini juga terbukti memberikan penghematan biaya energi yang signifikan untuk kebutuhan pendinginan bangunan. Hasil analisis menunjukkan bahwa *Direct Green Façade* (DGF) dan *Indirect Green Façade* (IGF) secara ekonomi layak diimplementasikan karena memiliki nilai NPV yang positif serta masa pengembalian modal yang cukup singkat. Sebaliknya, *Living Wall System* (LWS) ditemukan tidak layak secara ekonomi dalam skenario yang diuji karena memerlukan biaya instalasi dan pemeliharaan yang sangat tinggi dibandingkan manfaat energi yang diberikan. Penelitian ini memberikan kontribusi penting bagi para pengambil keputusan di daerah tropis untuk memilih sistem penghijauan yang paling efektif secara biaya dan kinerja termal. (Jayakody et al., 2023)

2.1.4.6 Studi Kasus Gedung Perkantoran, New Delhi, India

Penelitian berjudul "*Thermal performance of indirect green façade in composite climate of India*" dilakukan oleh Shruti Sharad Nagdeve, Shweta Manchanda, dan Anil Dewan. Studi ini diterbitkan pada tahun 2023 di jurnal *Building and Environment*. Lokasi penelitian dilaksanakan di New Delhi, India, yang memiliki karakteristik iklim komposit. Fokus utama penelitian ini adalah mengevaluasi kinerja termal dan kenyamanan dari sistem *Green facade* tidak

langsung pada iklim tersebut. Peneliti melakukan studi eksperimental waktu nyata untuk mengisi kesenjangan data terkait dampak *Green facade* di iklim India yang belum banyak diteliti sebelumnya. (Nagdeve et al., 2023)

Sistem *Green facade* yang digunakan dalam eksperimen ini adalah jenis *Green facade* tidak langsung (indirect green façade), yang merupakan salah satu kategori sistem *green facade*. Untuk mendukung penelitian ini, peneliti melakukan seleksi terhadap beberapa spesies tanaman panjat sebelum menentukan pilihan akhir. Tanaman yang akhirnya dipilih untuk digunakan sebagai layar hijau pada fasad adalah spesies *Thunbergia Grandiflora*, yang sering dikenal sebagai Bengal Clockvine. Tanaman ini dipilih berdasarkan observasi karakteristik pertumbuhan dan kemampuannya untuk bertahan dalam kondisi iklim setempat. Selama periode pengamatan, pertumbuhan tanaman ini dipantau secara ketat untuk memastikan densitas dedaunan yang optimal dalam menutupi fasad kaca. (Nagdeve et al., 2023)



Gambar 2.9 *Indirect Green Façade*

Sumber: Nagdeve et al

Pemasangan sistem *green facade* ini memberikan berbagai manfaat signifikan bagi kinerja termal bangunan, terutama dalam menghadapi iklim panas. Penggunaan *Green facade* terbukti mampu menurunkan suhu pada fasad yang menghadap ke barat daya hingga 8,1°C lebih rendah dibandingkan dengan fasad yang tidak tertutup. Selain memberikan efek pendinginan, sistem ini berfungsi efektif untuk memblokir paparan sinar matahari langsung yang keras ke interior

bangunan. Dengan mengurangi panas yang masuk ke dalam bangunan, sistem ini secara langsung membantu menekan konsumsi energi yang dibutuhkan untuk beban pendinginan. Lebih lanjut, *green facade* juga membantu menurunkan suhu permukaan bagian dalam serta suhu ambien interior, sekaligus mengurangi radiasi reflektif di lingkungan sekitar bangunan. (Nagdeve et al., 2023)

2.1.4.7 Studi Kasus pada *The Greenest of the Green block* di Helsinki, Finlandia

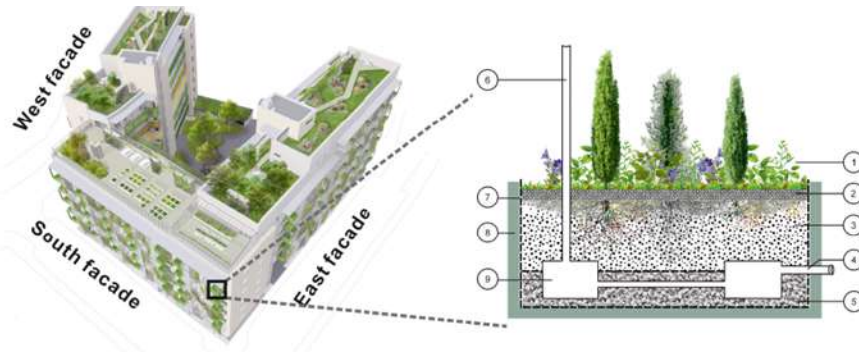
Penelitian berjudul "Influence of façade orientation, floor height, substrate pH, and microbial inoculation on woody plants' performance in vegetated façades in Southern Finland", yang ditulis oleh Xi Shu, Long Xie, D. Johan Kotze, Miia Jauni, Iris Lettojärvi, Taina H. Suonio, Ayako Nagase, dan Susanna Lehvävirta. Studi lapangan ini dilaksanakan di sebuah kompleks hunian *The Greenest of the Green block* di Jätkäsaari, Kota Helsinki, Finlandia Selatan. (Shu et al., 2024)



Gambar 2.10 *The Greenest of the Green block*

Sumber: Shu, et al

Peneliti mengevaluasi kinerja 12 taksa tanaman pada sistem *vegetated façades* (green façades) yang menggunakan kontainer vegetasi. Tanaman-tanaman tersebut dikelompokkan ke dalam empat bentuk pertumbuhan: konifer penyebar (*spreading conifers*), konifer kerdil (*dwarf conifers*), konifer merambat (*creeping conifers*), dan tanaman pemanjat (*climbers*). Spesies yang digunakan meliputi berbagai kultivar *Juniperus communis* dan *Picea abies*, serta *Clematis sibirica*, *Hydrangea anomala* subsp. *petiolaris*, *Humulus lupulus*, dan *Parthenocissus quinquefolia*. (Shu et al., 2024)



Gambar 2.11 Detail planter box

Sumber: Shu, et al

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengatasi keterbatasan pengetahuan mengenai tanaman yang sesuai untuk *vegetated façades* guna meningkatkan keberhasilan implementasi sistem hijau vertikal. Dengan menganalisis pengaruh faktor lingkungan seperti orientasi fasad, tinggi lantai, pH substrat, dan inokulasi mikoriza terhadap penampilan visual serta ukuran tanaman, penelitian ini memberikan wawasan penting untuk memaksimalkan penyediaan layanan ekosistem, seperti perbaikan kualitas udara, manajemen air hujan, mitigasi efek pulau panas perkotaan (*urban heat island*), serta peningkatan keanekaragaman hayati dan nilai estetika di lingkungan perkotaan yang padat. (Shu et al., 2024)

2.1.4.8 Studi Kasus di Gedung Administrasi Kampus Tongji University, Shanghai, Tiongkok

Penelitian berjudul "*Summertime thermal and energy performance of a double-skin Green facade: A case study in Shanghai*". Studi ini ditulis oleh tim peneliti yang terdiri dari Fan Yang, Feng Yuan, Feng Qian, Ziyu Zhuang, dan Junhua Yao. Lokasi penelitian ini dilaksanakan di Gedung Administrasi Kampus Tongji University, Shanghai, Tiongkok, yang dipilih sebagai representasi lingkungan perkotaan. Fokus utama dari studi ini adalah untuk mengevaluasi kinerja termal dan efisiensi penggunaan energi bangunan selama musim panas. Peneliti melakukan eksperimen mendalam untuk memahami bagaimana sistem hijau vertikal dapat berdampak positif pada efisiensi energi bangunan. Dengan melakukan studi kasus di Shanghai, para peneliti berharap dapat memberikan

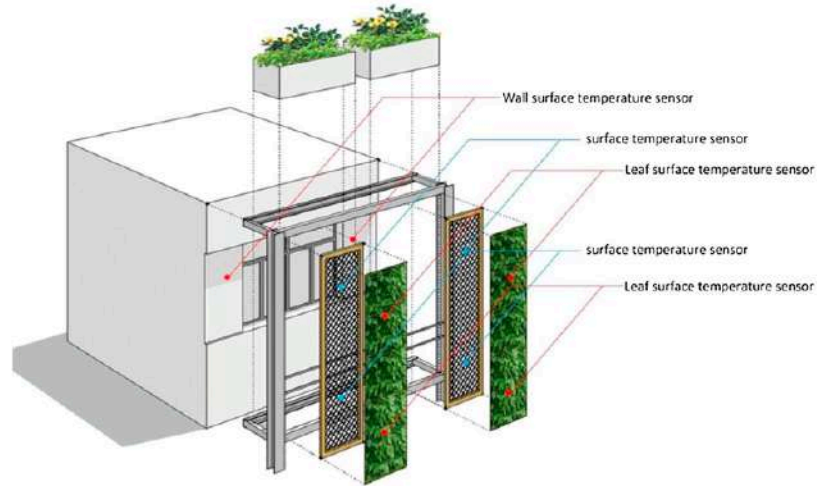
bukti empiris yang kuat mengenai efektivitas strategi pendinginan pasif ini. (Yang et al., 2018)



Gambar 2.12 Gedung Administrasi Kampus Tongji University

Sumber: Yang, et al

Jenis sistem yang diteliti dalam studi ini adalah *double-skin green façade* atau *Green facade* kulit ganda. Sistem ini dirancang secara khusus untuk menciptakan lapisan vegetasi yang terpisah dari struktur dinding bangunan utama. Tanaman yang secara spesifik digunakan dalam penelitian ini adalah spesies *Wisteria sinensis* atau yang dikenal sebagai bunga wisteria Tiongkok. Spesies ini dipilih karena kemampuannya untuk tumbuh subur dan menutupi area fasad secara cukup padat. Penggunaan tanaman *Wisteria sinensis* memungkinkan pembentukan lapisan peneduh yang signifikan pada permukaan bangunan. Struktur kulit ganda ini membantu mengoptimalkan sirkulasi udara di antara dedaunan dan dinding bangunan, yang menjadi komponen kunci dalam keberhasilan sistem ini. (Yang et al., 2018)



Gambar 2.13 Struktur *double-skin green façade*

Sumber: Yang, et al

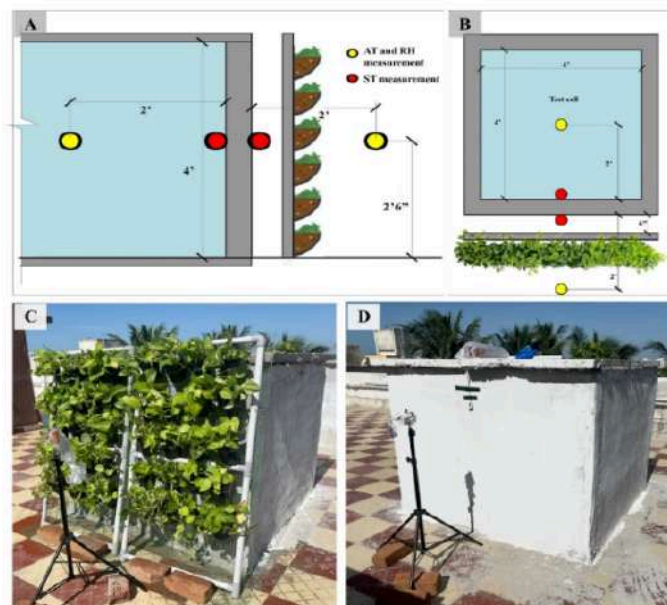
Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan *green facade* ini memberikan manfaat yang sangat signifikan dalam hal mitigasi suhu panas musim panas. Sistem ini mampu mengurangi suhu permukaan dinding eksterior bangunan secara efektif dan konsisten. Selain itu, terdapat penurunan yang terukur pada fluks panas yang biasanya menembus ke dalam struktur dinding bangunan. Pengurangan beban pendinginan gedung juga dapat dicapai melalui penurunan suhu udara dalam ruangan yang dihasilkan oleh sistem tersebut. Secara keseluruhan, sistem *double-skin green façade* terbukti menjadi solusi teknis yang efisien untuk meningkatkan kinerja energi bangunan di iklim seperti Shanghai. Temuan ini mendukung penggunaan vegetasi vertikal sebagai strategi arsitektural yang berkelanjutan dalam upaya mitigasi panas perkotaan. (Yang et al., 2018)

2.1.4.9 Studi pada Atap Gedung Apartemen 3 Lantai di Kota Chennai, India

Penelitian berjudul "Passive cooling of residential buildings in tropical climates using user-preferred plant species in green walls" yang ditulis oleh Udayasoorian Kaaviya Priya dan Ramalingam Senthil. Studi ini dilaksanakan di kota Chennai, yang terletak di negara bagian Tamil Nadu, India. Para peneliti melakukan eksperimen tersebut di atap sebuah gedung apartemen tempat tinggal yang memiliki tiga lantai. Fokus utama dari penelitian ini adalah untuk menguji efektivitas sistem pendinginan pasif melalui penerapan *green facade* pada

bangunan residensial. Mengingat kondisi iklim tropis yang panas di wilayah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mencari solusi berkelanjutan dalam meningkatkan kenyamanan termal bagi para penghuni. (Priya & Senthil, 2025)

Untuk metode implementasinya, peneliti menggunakan sistem *green facade* modular yang terdiri dari kotak-kotak tanaman yang ditempelkan pada rangka kawat dan baja. Desain modular ini dipilih karena kemudahannya dalam pemasangan dan pemeliharaan di lingkungan gedung apartemen. Sebelum menentukan jenis tanaman, tim peneliti terlebih dahulu melakukan survei untuk memahami preferensi pengguna terhadap tanaman yang ingin mereka gunakan. Berdasarkan kriteria tersebut, tanaman yang dipilih adalah *Epipremnum aureum*, atau yang lebih dikenal secara luas dengan sebutan Pothos. Tanaman ini dipilih karena memiliki keunggulan berupa biaya yang relatif murah, perawatan yang sangat sederhana, serta tingkat adaptasi yang tinggi terhadap lingkungan tropis di Chennai. (Priya & Senthil, 2025)



Gambar 2.14 Simulasi *Green Wall*

Sumber: Priya & Senthil

Manfaat dari penerapan sistem *green facade* ini terbukti sangat signifikan dalam upaya mendinginkan suhu bangunan secara pasif. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penggunaan sistem ini mampu menurunkan suhu udara di

dalam ruangan serta suhu permukaan dinding secara efektif. Penurunan suhu yang paling menonjol tercatat pada bagian dinding yang menghadap ke arah timur, dengan pengurangan suhu permukaan mencapai 3,2°C. Temuan ini memberikan bukti kuat bahwa *green facade* merupakan strategi yang sangat potensial untuk menghemat konsumsi energi pendingin ruangan di daerah beriklim tropis. Oleh karena itu, penelitian ini menyimpulkan bahwa pengintegrasian elemen vegetasi pada fasad bangunan adalah metode yang layak dan efisien untuk meningkatkan kualitas lingkungan hidup di kawasan urban. (Priya & Senthil, 2025)

2.1.4.10 Studi Kasus pada Fasilitas Laboratorium Termal Naresuan University, Thailand

Penelitian berjudul "*Plant characteristics and the potential for living walls to reduce temperatures and sequester carbon*" yang disusun oleh Sasima Charoenkit, Suthat Yiemwattana, dan Ninnart Rachapradit. Studi ini dipublikasikan pada tahun 2020 dalam jurnal *Energy and Buildings*. Lokasi penelitian ini berfokus pada fasilitas laboratorium termal khusus yang dibangun di dalam area kampus Naresuan University, Phitsanulok, Thailand. Penelitian ini bertujuan untuk menguji bagaimana karakteristik spesifik dari berbagai spesies tanaman pada *living wall* dapat mempengaruhi kinerja penurunan suhu dan kapasitas penyerapan karbon di wilayah beriklim tropis. Melalui studi kasus ini, peneliti mengevaluasi aspek termal, energi, dan sekuestrasi karbon dari penerapan sistem vegetasi vertikal pada selubung bangunan. (Charoenkit et al., 2020b)



Gambar 2.15 Fasilitas Uji *Living Wall* di Naresuan University

Sumber: Charoenkit et al.

Sistem *living wall* yang diteliti menggunakan dua jenis solusi struktural modular, yaitu sistem kantong kontinu (*felt-pocket system*) dan sistem pot kotak PVC vertikal (*modular planter system*). Sistem *felt-pocket* bekerja dengan

menampung kepadatan sekitar 49 tanaman/m², sedangkan sistem *modular planter* menampung hingga 64 tanaman/m² yang dilengkapi dengan kapasitas penahanan air cadangan (*water retaining*) yang lebih baik bagi tanaman. Jenis tanaman yang dipilih untuk fasad ini mencakup 12 spesies tropis (*Portulacaoleracea L*, *Cuphea hyssopifolia Humb*, *Sansevieria trifasciata hort*, *Alternanthera bettzickiana*, *Ligustrum sinense Lour*, *Portulaca grandiflora*, *Asystasia gangetica*, *Convolvulus sabatius Viv.*, *Aerva sanguinolenta*, *Melampodium divaricatum*, *Alternanthera sp.*, *Tradescantia spathacea Sw.*) berkinerja terbaik yang diklasifikasikan berdasarkan ukuran daun serta tipe pertumbuhan, seperti tumbuhan berkayu (*woody plants*), sukulen (*succulents*), dan terna (*forbs*). Kombinasi teknologi *modular planter* dan pemilihan spesies berdaun lebat dengan indeks luas daun (*Leaf Area Index/LAI*) yang tinggi dipilih karena kemampuan adaptasinya yang unggul terhadap cekaman panas ekstrem serta efisiensinya dalam menjaga retensi kesehatan tanaman jangka panjang. (Charoenkit et al., 2020a)

Implementasi sistem *living wall* dalam penelitian ini memberikan berbagai manfaat signifikan bagi kinerja bangunan dan lingkungan sekitarnya. Pertama, sistem vegetasi ini meningkatkan insulasi termal selubung bangunan dengan menaikkan nilai resistansi termal (*R-value*) dinding hingga mencapai rentang 0.20–0.24 m² • K/W yang efektif mereduksi perolehan panas (*heat gain*) dinding barat hingga sebesar 83.2%. Kedua, tanaman berperan dalam menyerap radiasi matahari langsung dan mendinginkan udara sekitar melalui proses evapotranspirasi intensif, yang sukses menurunkan suhu udara ruang interior bangunan hingga sebesar 3.6°C pada siang hari yang terik. Ketiga, sistem ini berkontribusi aktif dalam mitigasi emisi gas rumah kaca melalui fungsi sekuestrasi karbon fungsional dengan kapasitas penyerapan total mencapai rentang 62.6 – 118.4 g • C/m². Terakhir, keberadaan struktur berkayu (*woody structure*) pada spesies tertentu terbukti memberikan stabilitas penyimpanan karbon jangka panjang yang paling tinggi pada area fasad sekaligus memperbaiki kualitas mikroklimat lingkungan kampus secara berkelanjutan. (Charoenkit et al., 2020a)

2.2 Utilitas pada *Green Facade*

2.2.1 Media Tanam

Pemilihan media tanam berdampak langsung terhadap performa termal dan kemampuan retensi air bagi vegetasi. Selain berfungsi menyediakan nutrisi dan air yang dibutuhkan untuk proses biologis tanaman, media tumbuh yang baik juga menjadi tempat bagi akar tanaman untuk berpenetrasi sehingga menjadi lebih kuat dalam menahan terpaan angin atau cuaca buruk. Meskipun tanah merupakan media alami yang umum, penggunaan tanah murni pada kebun vertikal sering kali dihindari karena partikel lempung dan bahan organik di dalamnya cenderung menjadi sangat berat saat jenuh air, serta membutuhkan biaya perawatan yang tinggi saat harus diganti. Oleh karena itu, banyak produser dan peneliti yang mulai merancang formulasi media tanam buatan mereka sendiri, salah satunya dengan memanfaatkan sistem hidroponik tanpa tanah di mana pasokan nutrisinya disalurkan langsung melalui aliran air irigasi. Agar pertumbuhan akar dapat berjalan optimal, media tanam hidroponik ini wajib memiliki dua karakteristik utama, yaitu kapasitas menahan air yang tinggi serta memiliki porositas yang baik untuk ruang udara. (Jeyasurya et al., 2024)

Salah satu inovasi media tanam hidroponik yang saat ini banyak dinilai sangat efektif oleh para peneliti di berbagai belahan dunia, seperti di Kanada dan Selandia Baru, adalah pemanfaatan arang hayati atau sekam bakar (*biochar*). Penggunaan sekam bakar ini menawarkan keunggulan luar biasa karena struktur porinya terbukti mampu meningkatkan retensi atau pengikatan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman vertikal secara optimal. Selain memberikan dampak positif bagi sirkulasi hara pada akar, pengaplikasian komponen sekam bakar ini juga berkontribusi besar dalam menjaga kelestarian lingkungan makro di area perkotaan. Karakteristik materialnya yang stabil mampu menekan emisi gas rumah kaca berbahaya dari area penanaman, seperti pengurangan pelepasan gas dinitrogen oksida (N_2O) dan gas metana (CH_4) ke udara bebas. Melalui integrasi sekam bakar sebagai media tumbuh, bobot total struktur kebun vertikal dapat tetap terjaga dalam kondisi ringan tanpa mengorbankan stabilitas pasokan nutrisi dan air yang dibutuhkan tanaman.



Gambar 2.15 Media Tanam Sekam Bakar (*Biochar*)

Sumber: Mertani

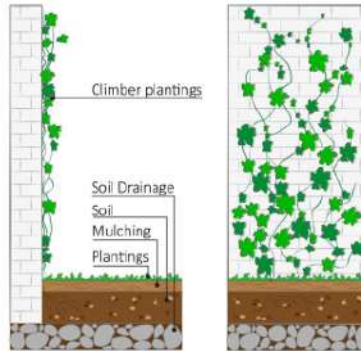
2.2.2 Planter

Penelitian mengenai sistem *green facade* mengalami perkembangan yang sangat pesat seiring dengan kebutuhan solusi hijau di area perkotaan yang padat lahan. Dalam jurnal ilmiah berjudul "*Vertical Greening Systems: A Critical Comparison of Do-It-Yourself Designs*" yang diteliti oleh Dominici, Comino, Torpy, dan Irga (2022), dijelaskan bahwa terdapat 8 jenis model yang memiliki karakteristik struktural serta tingkat aksesibilitas yang berbeda-beda. Delapan model tersebut mencakup variasi sistem mulai dari desain konvensional skala industri hingga model *Do-It-Yourself* (DIY) yang memanfaatkan material modular atau bahan daur ulang. Melalui klasifikasi ini, para peneliti membedakan setiap model berdasarkan aspek biaya, kompleksitas instalasi, kebutuhan air, hingga fleksibilitas penempatannya di lingkungan binaan. Secara rinci, kedelapan model sistem *green facade* yang dijelaskan dalam literatur tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Direct Green Façades*

Model pertama ini merupakan sistem *green facade* langsung yang terinspirasi dari teknik arsitektur kuno di wilayah Mediterania dan Eropa Tengah. Jurnal menyebutkan bahwa model 1 adalah desain paling sederhana dan merupakan model *green facade* dengan biaya paling murah. Sistem tradisional ini sangat mudah diterapkan di area perkotaan yang padat, terutama untuk lingkungan luar ruangan (*outdoor*). Kemudahan implementasinya didukung oleh fakta bahwa model ini hanya membutuhkan jumlah material yang sangat terbatas untuk proses pembuatannya. Namun, kelemahan utama dari model ini adalah daya tarik estetika yang rendah serta

pilihan tanaman yang terbatas pada jenis tanaman merambat saja (Dominici et al., 2022).

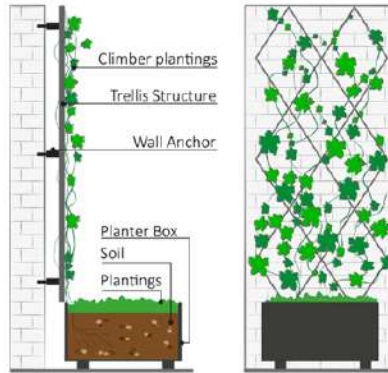


Gambar 2.16 Model 1 *Direct Green facade*

Sumber: Dominici, et al

2. *Indirect Green Façades*

Model kedua ini menggunakan struktur pendukung vertikal seperti bambu, kayu, baja, aluminium, atau HDPE sebagai teralis untuk memandu pertumbuhan tanaman. Penggunaan struktur teralis tersebut berfungsi untuk meningkatkan cakupan tanaman pada permukaan bangunan sekaligus mengurangi risiko runtuhnya sistem *green facade*. Model teralis atau mes ini sering kali diterapkan pada pagar rumah tinggal maupun fasad bangunan komersial sebagai solusi penghijauan berbiaya rendah. Sistem ini juga dikenal dengan istilah "*double-skin façade*" karena struktur vegetasi vertikalnya menciptakan celah udara dengan permukaan dinding untuk menjaga integritas bangunan. Keuntungan utama dari model kedua ini adalah strukturnya yang ringan, meskipun pertumbuhan tanamannya cenderung lambat dan tersebar di sepanjang permukaan (Dominici et al., 2022).

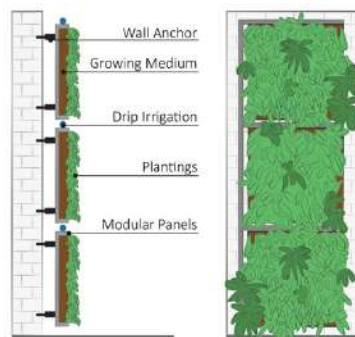


Gambar 2.18 Model 2 *Indirect Green facade*

Sumber: Dominici, et al

3. *Modular Panels*

Model ketiga merupakan panel pra-vegetasi modular yang karakteristiknya mengadopsi gaya produk komersial di pasaran. Secara umum, tipe *green facade* ini dicirikan oleh panel kotak tahan air (seperti polistiren atau HDPE) yang menampung substrat organik atau anorganik ringan dan dilengkapi sistem fertigasi. Berkat strukturnya yang sangat serbaguna, model panel modular ini sangat cocok untuk menutup seluruh atau sebagian permukaan bangunan besar secara cepat. Sistem panel pra-vegetasi mampu memastikan hasil estetika yang tinggi dan seragam langsung setelah proses instalasi terpasang. Sisi negatifnya, model ini merupakan solusi yang relatif berat dan menjadi model paling mahal di antara yang lain karena kompleksitas strukturnya (Dominici et al., 2022).

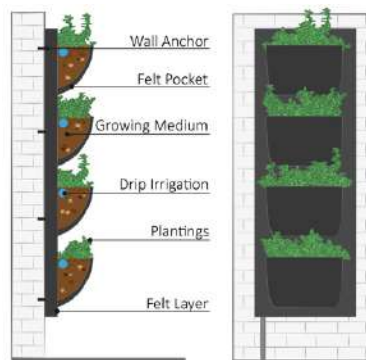


Gambar 2.19 Model 3 *Modular Panel*

Sumber: Dominici, et al

4. *Textile Bags*

Model keempat dibuat dari material tekstil kuat seperti kain flanel, geotekstil, goni, atau terpal yang mampu menahan air, cuaca, serta beban sistem itu sendiri. Tanaman beserta media tumbuh umumnya dimasukkan dan ditampung di dalam kantong-kantong tekstil tersebut. Keunggulan utama dari model kantong flanel ini terletak pada sifat strukturnya yang sangat ringan dan fleksibilitasnya untuk diaplikasikan pada permukaan bangunan yang miring. Karena struktur modularnya yang fleksibel, sistem ini dapat digunakan untuk proyek skala besar maupun aplikasi skala kecil seperti kebun aromatik domestik. Kekurangan dari model ini adalah adanya pembatasan ruang untuk pertumbuhan akar tanaman serta konsumsi air dan nutrisi yang relatif tinggi (Dominici et al., 2022).



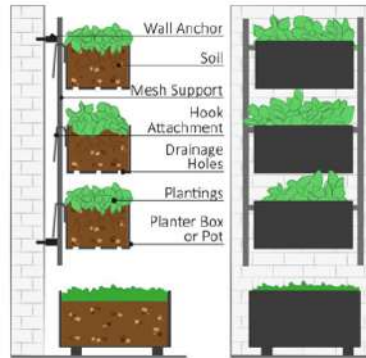
Gambar 2.20 Model 4 *Textile Bags*

Sumber: Dominici, et al

5. *Planter/Pot System*

Model kelima merupakan sistem *green facade* modular yang memanfaatkan kotak pot (*planter box*) atau pot konvensional yang ditempelkan pada struktur pendukung. Komponen penyusun pada model desain ini sangat bervariasi, baik dari segi bentuk, material, maupun struktur wadahnya. Sistem ini dicirikan oleh penggunaan bahan-bahan yang relatif sederhana dan umum sehingga penerapannya menjadi sangat fleksibel untuk lingkungan *indoor* maupun *outdoor*. Model pot ini dinilai sangat serbaguna karena sistem DIY-nya sering kali dibuat dengan mendaur ulang material limbah seperti botol minuman plastik. Struktur modularnya yang fungsional

juga membuat sistem ini menjadi salah satu yang paling mudah dirawat karena komponennya mudah dibongkar pasang saat penggantian tanaman (Dominici et al., 2022).

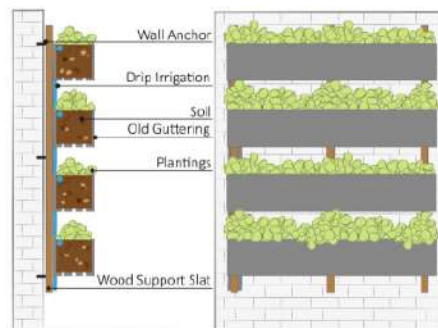


Gambar 2.21 Model 5 *Planter System*

Sumber: Dominici, et al

6. *Guttering System*

Model keenam memanfaatkan material bekas seperti talang air hujan yang dialihfungsikan sebagai wadah atau pot tempat menumbuhkan tanaman. Sistem talang air ini merupakan solusi DIY yang sangat kreatif dan berpotensi menjadi model *green facade* yang paling hemat biaya. Penerapannya bertujuan untuk meningkatkan keberlanjutan lingkungan melalui proses daur ulang (*upcycling*) material yang memiliki daya tahan lama. Jaringan irigasi tetes dapat dipasang di sepanjang permukaan atas substrat, sedangkan kelebihan air dapat mengalir ke bawah memanfaatkan gravitasi bumi. Kelemahan utama sistem talang air ini adalah kedalaman dan volume substrat yang sangat terbatas sehingga pilihan tanaman terbatas pada jenis berakar dangkal saja (Dominici et al., 2022).

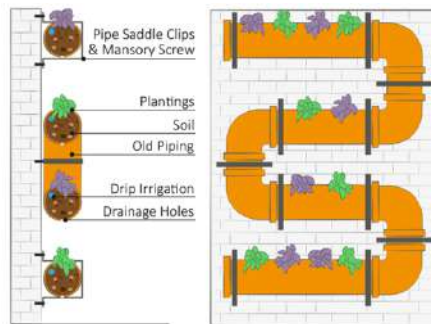


Gambar 2.22 Model 6 *Guttering System*

Sumber: Dominici, et al

7. *Piping System*

Model ketujuh menggunakan pipa PVC bekas sebagai komponen struktural utama sistem yang dapat langsung dipasang ke dinding menggunakan sekrup dan klem pipa. Berbagai bagian pipa dapat disambungkan satu sama lain melalui alat penyambung pipa (*fitting*) untuk mendapatkan struktur kreatif sesuai kebutuhan pengguna. Pipa-pipa tersebut diisi dengan substrat kultivasi (tanah atau substrat ringan lainnya) yang berfungsi sebagai wadah untuk menahan akar tanaman. Struktur linier pada pipa PVC ini memungkinkan sistem irigasi tetes terintegrasi untuk dipasang dengan mudah di setiap tingkat baris tanaman. Sayangnya, ruang pertumbuhan akar pada model pipa ini juga terbatas, meskipun sangat cocok untuk budidaya tanaman pangan kecil seperti sayuran (Dominici et al., 2022).



Gambar 2.23 Model 7 *Piping System*

Sumber: Dominici, et al

8. *Freestanding Wood-Based System*

Model kedelapan merupakan sistem terstruktur yang menggunakan palet atau peti kayu bekas yang ditumpuk untuk memungkinkan penghijauan vertikal secara mandiri. Berdasarkan jurnal literatur, model ini dinilai sangat bagus karena struktur kotaknya menyediakan volume media tanam yang besar sehingga memperluas pilihan spesies tanaman. Selain itu, model ke-8 ini memiliki keunggulan luar biasa dalam fleksibilitas integrasi ruang karena sifatnya yang berdiri bebas (*freestanding*) tanpa memerlukan dinding bangunan sebagai penahan. Meskipun model berbasis kayu ini dinilai sangat

baik dalam penelitian aslinya, tetapi dalam implementasi penelitian skripsi ini, material kayu tersebut nantinya akan diganti dengan material baja. Penggantian ke material baja dilakukan secara sengaja untuk mengatasi kelemahan kayu yang rentan terhadap akumulasi kelembaban, kerusakan struktural, serta membutuhkan perawatan pelapisan luar yang berulang kali. (Dominici et al., 2022)



Gambar 2.24 Model 8 *Freestanding Wood-Based System*

Sumber: Dominici, et al

2.2.3 Pengairan

Sistem irigasi sangat penting karena mewakili fakta bahwa air dan nutrisi diberikan kepada vegetasi melalui sistem irigasi mekanis atau alami tertentu. Karena itu, sangat penting untuk memperkenalkan semacam kontrol dan pengaturan waktu sistem irigasi untuk memastikan penyediaan air yang teratur dan aman. Berbagai sistem irigasi tersedia untuk berbagai pengaturan dinding hidup. Secara tradisional, irigasi dilakukan secara manual, tetapi saat ini, sistem tetes menggunakan gravitasi telah menjadi alternatif yang umum. Sebuah percobaan dilakukan menggunakan sistem irigasi yang dikendalikan pengatur waktu untuk mengevaluasi kinerja termal dinding hidup vertikal. Dengan mempertahankan jadwal irigasi tetap, tingkat kelembaban dijaga antara 20% dan 45% sepanjang penelitian untuk mengoptimalkan efek pendinginan. Gravitasi memandu distribusi kelembaban di dalam media tanam. Untuk memastikan kondisi tanaman yang optimal, sensor kelembaban harus dipasang di media tanam. Di pasar komersial, berbagai sistem irigasi tersedia untuk berbagai konfigurasi dinding hidup, termasuk sistem tetes vertikal terkomputerisasi, sistem irigasi tetes individual, dan sistem irigasi penahan air. (Jeyasurya et al., 2024)

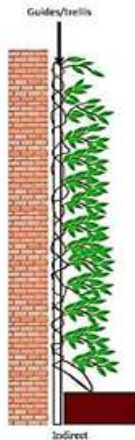
Untuk mengairi 1 m² tanaman pada permukaan vertikal, sistem irigasi yang efisien dapat mengeluarkan sekitar 2,5 L dua kali sehari. Ini sebanding dengan tingkat penggunaan lansekap tipikal sebesar 4 hingga 5 L m⁻². Bagian atas atau bawah taman vertikal dapat digunakan untuk mengumpulkan dan menyimpan air hujan dalam tangki penyimpanan. Mempertahankan sumber air dan tangki penyimpanan di bagian atas memungkinkan irigasi berbasis gravitasi, yang juga menghemat energi. Kelebihan curah hujan kemudian dapat dipompa dan digunakan kembali setelah dikumpulkan di nampan atau bak penampung di bagian bawah. Telah dibuktikan bahwa kadar air substrat panel *green facade* modular bervariasi dari 15 hingga 45% (v/v) di bagian atas dan bawah. Seperti yang disarankan oleh sebuah penelitian, untuk dinding hidup, penyiraman dilakukan 3-5 kali sehari, tergantung pada musim dan paparan taman vertikal. (Jeyasurya et al., 2024)

2.2.4 Struktur

Lapisan struktural bisa dibilang adalah kerangka kunci yang menjadi fondasi utama dari seluruh sistem *green facade*. Komponen kerangka ini dirancang berbeda-beda dan harus disesuaikan sejak awal berdasarkan lokasi pemasangannya, apakah mau ditaruh di dalam ruangan (*indoor*) atau di luar ruangan (*outdoor*). Tugas paling utama dari lapisan struktural ini adalah menahan total beban mati dari komponen lain yang menempel pada sistem, mulai dari wadah tanaman, media tumbuh, vegetasi, hingga air irigasi yang mengalir. Tantangannya akan jauh lebih berat jika *green facade* ini dipasang di area *outdoor*, karena kerangka penopangnya juga harus kuat menghadapi beban alam seperti terpaan angin kencang, hingga air hujan. Oleh karena itu, perencanaan teknis yang matang pada lapisan struktural ini sangat krusial demi mencegah risiko fatal seperti sistem yang terlepas atau runtuh setelah dipasang di area bangunan perkotaan. (Jeyasurya et al., 2024)

Setiap jenis atau model sistem *green facade* pada dasarnya membutuhkan jenis struktur pendukung yang berbeda-beda tergantung pada tingkat kerumitan desainnya. Misalnya pada model *green facade* teralis (*trellis system*), lapisan strukturnya cenderung lebih simpel karena biasanya hanya membutuhkan anyaman kawat, struktur mes, atau teralis modular sebagai media merambatnya tanaman. Sementara itu, untuk model yang lebih kompleks seperti sistem kantong flanel (*felt layer*) maupun panel modular (*modular*

panel), lembaran kain atau boks tanaman tersebut harus disekrup dan dikunci langsung pada sebuah bingkai rangka utama. Agar sistem ini awet dan tidak gampang rusak dalam jangka panjang, penggunaan material logam tahan karat seperti baja tahan karat (*stainless steel*), aluminium, atau baja galvanis sangat disarankan untuk membuat kerangka tersebut. Namun, jika anggaran penelitian atau proyek masih mencukupi, penggunaan material kayu keras (*hard wood*) juga bisa menjadi pilihan alternatif yang sangat bagus karena sifatnya yang jauh lebih ramah lingkungan. (Jeyasurya et al., 2024)



Gambar 2.25 Model *green façade trellis system*

Sumber: Jeyasurya, et al

2.2.5 Perawatan *Green facade*

Penting untuk mengelola *green facade* karena *green facade* merupakan sistem hidup. Perawatan didasarkan pada kategori taman vertikal, jenis tanaman, dan kondisi iklim. Bahan isolasi dan panel penyangga yang digunakan untuk taman vertikal biasanya tahan terhadap kondisi ekologis. Perawatan juga terkait dengan keanekaragaman vegetasi dan sistem irigasi. Namun, panel penyangga atau bahan isolasi harus diganti jika ada kerusakan. Seperti pada semua proyek lansekap, vegetasi yang beradaptasi dengan kondisi ekologis harus digunakan. Jika ada tanaman yang rusak, maka harus diganti. Selain itu, perawatan rutin yang dibutuhkan untuk sistem irigasi tidak boleh terpengaruh oleh cuaca dingin selama bulan-bulan musim dingin. Perlu juga dicatat bahwa efek yang diinginkan diberikan dengan penambahan bahan makanan tanaman dan pekerjaan pemangkasan rutin. Kesimpulannya, perawatan yang harus dilakukan pada permukaan vertikal lebih kompleks daripada pada permukaan horizontal. (Jeyasurya et al., 2024)

2.3 Best Practice

Tabel 2.1 *Best Practice*

Sumber: Scopus

Penulis	Judul	Temuan		
		Lokasi	Implementasi	Manfaat
Santi G, Bertolazzi A, Leporelli E, Turrini U, and Croatto G. (2020)	<i>Green Systems Integrated to the Building Envelope: Strategies and Technical Solution for the Italian Case</i>	Palazzo Agostini, Pisa, Italia	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Greenery Systems Integrated (GSI)</i>, - <i>Green facade</i>, - <i>Living Walls</i>, dan - <i>Green Roof</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> - Memilih spesies tanaman dengan hati-hati periksa alergen, toksisitas, dan kesesuaian iklim. - Ikuti jadwal perawatan tiga fase: perawatan penyelesaian (12–15 bulan), perawatan awal (2–4 tahun), kemudian perawatan rutin berkelanjutan.
Sanjaya R, Siwi S, Lianto F, Bambang M (2020)	<i>Reintroducing Urban Wildlife through Green Façade Technology in Vertical Housings</i>	<i>Oasia Downton</i> dan <i>The Interlace</i> , Singapura	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Green facade</i>, dan - <i>Roof Garden</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> - Memperlakukan ruang hijau vertikal bukan sebagai dekorasi mewah tetapi sebagai infrastruktur ekologis. - Keberhasilan Singapura menunjukkan bahwa hal ini dapat dicapai.
Kraus M, Senitkova I, Zak J, dan Kankovsky A (2025)	<i>Integration of Green Roofs and Facades as a Climate Change Adaptation Strategy: Environmental, Energy, and Microclimatic Aspects</i>	Kampus VŠB-Technical University of Ostrava, Republik Ceko	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Green Roofs</i>, - <i>Green Façade</i>, dan - <i>Green facade</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> - Studi ini menyoroti bahwa performa sangat dipengaruhi oleh komposisi substrat, pemilihan spesies tanaman, metode irigasi, dan kapasitas beban structural. - Harus melakukan proses evaluasi dengan cermat selama fase desain untuk mengoptimalkan hasil lingkungan dan energi.
Şık C dan Widera B (2026)	<i>Impact of vertical green façades on urban heat island mitigation and outdoor air quality</i>	FNP Headquarters, Polandia dan Bangunan Residents GreenONE, Jerman	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Vertical Green Façade</i>, - <i>Green Coverage Ratio</i>, dan - Sistem Irigasi. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pengukuran lapangan di lima bangunan di Eropa Tengah (Polandia dan Jerman) menunjukkan bahwa dinding hidup mengurangi suhu permukaan hingga

				13,7°C dan <i>Green facade</i> hingga 13,1°C selama musim panas.
Jayakody G, Weerasinghe K, Jayasinghe G, dan Halwatura R. (2023)	<i>Economical sustainability of vertical greeneries in tropical climate</i>	Dinding Tropis, Colombo, Sri Lanka	- <i>Direct Green Façades (DGF)</i> , - <i>Indirect Green Façades (IGF)</i> , dan - <i>Living Wall Systems (LWS)</i> .	- Penerapan pada fasad gedung perkantoran yang menghadap ke barat di Colombo, Sri Lanka, DGF, IGF, dan LWS mencapai penghematan energi pendinginan masing-masing sebesar 12,93%, 15,36%, dan 26,76% dibandingkan dengan dinding polos.
Nagdeve S, Manchanda S, dan Dewan A (2023)	<i>Thermal performance of indirect green façade in composite climate of India</i>	Gedung Perkantoran, New Delhi, India	- <i>Green Façade</i> , dan - <i>Living Wall</i> .	- Pada fasad kaca yang menghadap barat daya di New Delhi, layar hijau (tanaman merambat Bengal, <i>Thunbergia Grandiflora</i>) mengurangi suhu permukaan eksternal hingga 8,1°C dibandingkan dengan fasad tanpa penutup pada hari-hari cerah. - Permukaan bagian dalam fasad kaca terasa jauh lebih dingin di bawah layar hijau, dengan penurunan maksimum 8,6°C pada hari cerah dan 4,7°C pada hari mendung.
Xie X, Kotze D, Jauni M, Lettojärvi I, Suonio T, Nagase A, dan Lehvävirta S (2024)	<i>Influence of façade orientation, floor height, substrate pH, and microbial inoculation on woody plants' performance in vegetated façades in Southern Finland</i>	<i>The Greenest of the Green block</i> di Helsinki, Finlandia	- <i>Vertical Greenery System</i> , dan - <i>Green Façade</i> .	- Tanaman di fasad yang menghadap ke timur secara konsisten menunjukkan penampilan visual terbaik dan pertumbuhan ukuran terbesar di hampir semua bentuk pertumbuhan. - Fasad bervegetasi menggunakan tanaman berkayu meningkatkan keragaman struktur dan ketinggian pada infrastruktur hijau perkotaan.

Yang F, Yuan F, Qian F, Zhuang Z, dan Yao J (2018)	<i>Summertime thermal and energy performance of a double-skin Green facade: A case study in Shanghai</i>	Kampus Tongji University, Shanghai, Tiongkok	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Vertical Greenery System</i>, dan - <i>Green Walls</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pemilihan tanaman berdasarkan preferensi pengguna yang adaptif dan mudah dirawat, seperti tanaman rambat terbukti tetap mampu memberikan penurunan suhu yang signifikan. - Penempatan green wall pada orientasi fasad dengan paparan matahari tinggi memberikan efektivitas pendinginan paling optimal.
Priya U dan Senthil R (2025)	<i>Passive cooling of residential buildings in tropical climates using user-preferred plant species in green walls</i>	Atap Gedung Apartemen 3 Lantai di Kota Chennai, India	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Green Walls</i>, - <i>Double-Skin Green facade (DSGF)</i>, dan - Vegetasi. 	<ul style="list-style-type: none"> - Penggunaan sistem <i>double-skin Green facade (DSGF)</i> sebagai strategi <i>passive cooling</i> terbukti efektif dalam membentuk iklim mikro pada cavity fasad yang mampu menurunkan suhu permukaan dan suhu operatif ruang. - Fasad dengan paparan radiasi tinggi (khususnya selatan) serta tingkat kerapatan daun yang tinggi memberikan performa peneduhan dan pendinginan yang lebih signifikan.
Charoenkit S, Yiemwattana S, Rachapradit N (2020)	<i>Plant characteristics and the potential for living walls to reduce temperatures and sequester carbon</i>	Fasilitas Laboratorium Termal Naresuan University, Thailand	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Characteristic Vegetation</i>, dan - <i>Living Walls</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> - 12 spesies tropis berkinerja terbaik diklasifikasikan berdasarkan ukuran daun serta tipe pertumbuhan. - Kombinasi teknologi <i>modular planter</i> dan pemilihan spesies berdaun lebat dengan indeks luas daun yang tinggi dipilih karena kemampuan adaptasinya yang unggul terhadap cekaman panas ekstrem.

2.4 Kesimpulan

Penerapan teknologi *green façade* pada dinding luar bangunan terbukti membawa dampak positif yang sangat nyata bagi kesehatan lingkungan perkotaan di berbagai belahan dunia. Berdasarkan studi kasus nyata pada bangunan di kota padat seperti Shanghai dan Chennai, rimbunnya dedaunan pada fasad ini bekerja layaknya payung alami yang sukses memblokir terik matahari (Yang et al., 2018). Efek pembayangan dan penguapan air alami tersebut terbukti mampu menurunkan suhu permukaan dinding luar secara masif antara 3,2°C hingga 7°C (Bakhshoodeh et al., 2022b). Menariknya lagi, data dari stasiun pengukuran di Wroclaw menunjukkan bahwa manfaat fasad hijau ini sangat efektif bertindak sebagai penyaring debu kotor jalanan (Seyrek Şık & Widera, 2026). Dedaunan yang merambat vertikal mampu menangkap partikel polusi halus dan materi kasar dari asap kendaraan sekaligus menyerap gas karbon dioksida secara konstan (Jeyasurya et al., 2024). Selain itu, rajutan tanaman ini juga berfungsi sebagai peredam suara bising di koridor jalan raya serta memberikan pemandangan hijau yang secara psikologis terbukti ampuh menurunkan tingkat stres manusia (Kraus et al., 2025).

Keberhasilan dan umur panjang dari struktur dinding hijau ini sangat ditentukan oleh ketepatan dalam memilih jenis tanaman merambat yang disesuaikan dengan lokasi proyek. Melalui pengujian berkala di wilayah tropis India dan Sri Lanka, kriteria utama yang harus dipenuhi adalah tanaman tersebut wajib memiliki sifat tangguh terhadap fluktuasi cuaca ekstrem dan memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi (Jayakody et al., 2023). Hal paling mendasar yang perlu diperhatikan adalah tingkat kerapatan daun serta seberapa luas permukaan dinding bangunan yang bisa tertutupi oleh tanaman tersebut secara konsisten (Bakhshoodeh et al., 2022a). Untuk dinding luar yang polos tanpa tiang bantu, studi kasus menyarankan jenis tanaman mandiri yang memiliki akar pelekat kuat seperti keluarga tanaman Ivy agar bisa memanjat sendiri tanpa risiko jatuh (Shu et al., 2024). Sementara itu, untuk tipe fasad tidak langsung yang menggunakan struktur kabel atau kawat bantu, tanaman membelit seperti Sirih Gading (*Epipremnum aureum*) atau *Thunbergia grandiflora* menjadi opsi terbaik karena batangnya sangat fleksibel untuk melilit naik ke atas (Nagdeve et al., 2023).

Dari segi instalasi dan perawatan, sistem utilitas pendukung *green façade* diakui jauh lebih praktis serta aman bagi struktur inti bangunan jika dibandingkan dengan sistem taman vertikal lainnya (Jayakody et al., 2023). Studi kasus pada bangunan hijau modern di Helsinki

memperlihatkan bahwa keunggulan utama sistem ini terletak pada posisi media tanam dan sirkulasi akar yang semuanya dipusatkan di bagian dasar atau lantai horizontal saja (Morsi & Elian, 2021). Demi keamanan jangka panjang, wadah penanam di dasar ini sama sekali tidak menggunakan tanah biasa, melainkan memakai campuran bahan khusus yang ramah lingkungan seperti sekam bakar (*biochar*) (Shu et al., 2024). Penggunaan sekam bakar ini mampu membuang kelebihan air dengan cepat sehingga struktur pot tidak menjadi terlalu berat dan membebani kolom bangunan (Bakhshoodeh et al., 2022a). Terakhir, kebutuhan air tanaman dipasok secara presisi melalui pipa irigasi tetes otomatis (*drip irrigation*) yang diatur oleh alat pengukur waktu elektronik, sehingga tanaman tetap tersiram secara pas tanpa ada risiko air merembes atau merusak konstruksi dinding semen (Jeyasurya et al., 2024).