



Identifikasi Fitur Bangunan Hijau Berbasis EDGE pada Rumah Subsidi: Pendekatan Multi-Stage Screening dan Analisis Matriks Biner

Brian Y Buyang^{1*}, Farida Rachmawati¹

¹Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

*Corresponding Author's e-mail: buyangbrian15@gmail.com

Article History:

Received: January 13, 2026

Revised: January 26, 2026

Accepted: January 29, 2026

Keywords:

Identifikasi Fitur Hijau,
Rumah Subsidi, EDGE,
Matriks Biner.

Abstract: Penyediaan perumahan subsidi bagi Masyarakat Berpenghasilan Rendah (MBR) sering kali dihadapkan pada dilema antara keterjangkauan biaya awal (initial cost) dan kinerja bangunan jangka panjang. Sementara konsep bangunan hijau (green building) menawarkan efisiensi energi dan air, penerapannya pada sektor ini terhambat oleh persepsi biaya premium. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi fitur-fitur bangunan hijau yang paling optimal untuk diintegrasikan pada desain rumah subsidi Tipe 30/66 di Bangil, Jawa Timur. Penelitian ini menggunakan metode kualitatif-kuantitatif melalui pendekatan penyaringan bertingkat (multi-stage screening) yang mencakup inventarisasi standar EDGE, validasi ahli (GreenShip Professional), dan analisis Matriks Biner. Hasil penelitian mengidentifikasi enam fitur utama: Reflective Roof (SRI 90), Ventilasi Alami, Kaca Low-U, Keran Aerator, Showerhead hemat air, dan Kloset Dual Flush. Analisis Matriks Biner memvalidasi bahwa keenam fitur terpilih memiliki dampak penghematan signifikan (Sustainable=1), menjadikannya strategi esensial untuk menurunkan intensitas energi dan air. Temuan lebih lanjut menunjukkan 83% fitur merupakan strategi desain pasif dan efisiensi saniter dengan biaya tambahan minimal (Cost=1), sedangkan Kaca Low-U menjadi satu-satunya fitur dengan investasi tinggi (Cost=0) yang tetap diadopsi karena urgensi dampak termalnya.

Copyright © 2026, The Author(s).

This is an open access article under the CC-BY-SA license



How to cite: Buyang, B. Y., & Rachmawati, F. (2026). Identifikasi Fitur Bangunan Hijau Berbasis EDGE pada Rumah Subsidi: Pendekatan Multi-Stage Screening dan Analisis Matriks Biner. *SENTRI: Jurnal Riset Ilmiah*, 5(1), 827–836. <https://doi.org/10.55681/sentri.v5i1.5675>

PENDAHULUAN

Laju urbanisasi yang tinggi di Indonesia menuntut penyediaan infrastruktur dasar yang memadai, termasuk perumahan. Pemerintah merespons hal ini melalui program perumahan subsidi seperti Fasilitas Likuiditas Pembiayaan Perumahan (FLPP) untuk menjamin akses hunian bagi Masyarakat Berpenghasilan Rendah (MBR) [1]. Namun, fokus historis pada pengendalian biaya konstruksi awal sering kali mengabaikan aspek keberlanjutan. Akibatnya, rumah subsidi konvensional cenderung memiliki kualitas lingkungan binaan yang rendah, yang berdampak pada tingginya biaya operasional (listrik dan air) yang harus ditanggung penghuni dalam jangka panjang. Selain itu, rumah subsidi konvensional cenderung memiliki kualitas lingkungan binaan yang rendah, yang berdampak pada tingginya biaya operasional (listrik dan air) yang harus ditanggung penghuni dalam jangka panjang. Fenomena inefisiensi ini berisiko menjerumuskan penghuni ke dalam kondisi kemiskinan energi (energy poverty), di mana rumah tangga berpenghasilan rendah terpaksa mengalokasikan proporsi pendapatan yang tidak wajar untuk memenuhi kebutuhan energi dasar akibat buruknya kinerja termal bangunan [11].

Studi literatur menunjukkan bahwa beban biaya energi (energy burden) pada masyarakat berpenghasilan rendah jauh lebih berat dibandingkan kelompok masyarakat mampu, sering kali memaksa mereka melakukan trade-off ekonomi yang sulit, seperti mengurangi anggaran kesehatan atau pangan demi membayar tagihan listrik [12]. Dengan demikian, mengabaikan aspek efisiensi energi demi menekan harga jual awal (initial cost) rumah subsidi sesungguhnya merupakan bentuk pemindahan beban finansial kepada MBR di masa depan, yang justru kontraproduktif terhadap tujuan kesejahteraan program perumahan itu sendiri [13].

Tantangan utama dalam mengadopsi konsep bangunan hijau pada segmen ini adalah persepsi mengenai 'biaya premium' atau investasi awal yang lebih tinggi. Oleh karena itu, diperlukan strategi integrasi fitur hijau yang selektif. Dalam penelitian ini, istilah 'integrasi' didefinisikan sebagai pendekatan retrofitting berkelanjutan (sustainable retrofitting), yaitu proses sistematis untuk meningkatkan kinerja bangunan *existing* (yang sudah terbangun) melalui modifikasi komponen spesifik tanpa merombak struktur utama. Namun, tidak menutup kemungkinan untuk menggunakan penelitian ini pada bangunan baru untuk menjadi panduan (*Threshold*). Integrasi di sini menekankan pada analisis kompatibilitas teknis antara fitur baru dengan bangunan lama untuk memastikan intervensi yang dilakukan efektif menekan biaya operasional jangka panjang [20]. Strategi ini terbukti menjadi solusi paling layak (feasible) untuk meningkatkan kualitas hunian sosial yang sudah ada tanpa membebani pemilik dengan biaya rekonstruksi total [21].

Penelitian ini berfokus pada langkah fundamental pertama dalam perancangan rumah hijau terjangkau: identifikasi fitur. Pertanyaan penelitian yang diajukan adalah: Apa saja alternatif penambahan fitur green housing yang layak secara teknis dan ekonomis untuk diterapkan pada rumah subsidi?. Tujuan utamanya adalah menginventarisasi dan menyeleksi fitur-fitur spesifik berbasis standar EDGE (*Excellence in Design for Greater Efficiencies*) yang relevan untuk tipologi rumah sederhana di iklim tropis.

LANDASAN TEORI

A. Perumahan Subsidi di Indonesia

Rumah subsidi merupakan intervensi kebijakan pemerintah untuk menyediakan hunian yang layak dan terjangkau bagi Masyarakat Berpenghasilan Rendah (MBR). Di Indonesia, program ini sering kali diwujudkan melalui skema Fasilitas Likuiditas Pembiayaan Perumahan (FLPP) dengan batasan harga jual yang ketat. Tantangan utama dalam mengadopsi konsep bangunan hijau (green building) pada segmen ini adalah persepsi mengenai "biaya premium". Studi literatur menunjukkan adanya kesenjangan fundamental di mana fokus pengembang pada pengendalian biaya awal (initial cost) sering mengorbankan kualitas lingkungan binaan [3]. Padahal, bangunan konvensional yang tidak efisien akan membebani penghuni MBR dengan biaya operasional listrik dan air yang tinggi dalam jangka panjang, yang berpotensi menyebabkan kemiskinan energi (energy poverty) [10]. Oleh karena itu, identifikasi fitur hijau pada rumah subsidi tidak boleh hanya berfokus pada performa ekologis, tetapi harus memprioritaskan fitur dengan biaya tambahan (incremental cost) yang minimal.

B. Indonesian Green Affordable Housing Program (IGAHP)

Indonesia Green Affordable Housing Program (IGAHP) merupakan inisiatif strategis yang diluncurkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) untuk mengarusutamakan konsep keberlanjutan ke dalam sektor perumahan subsidi. Program ini dirancang sebagai peta jalan (roadmap) jangka panjang dengan target

ambisius: pembangunan 1 juta unit rumah hijau layak huni pada tahun 2030 dan pencapaian 100% hunian net-zero emission pada tahun 2050 [17].

Secara regulasi, pelaksanaan teknis penilaian bangunan hijau untuk rumah sederhana (seperti tipe subsidi 30/60) kini mengacu pada Surat Edaran Direktur Jenderal Cipta Karya Nomor 03/SE/Dc/2023 tentang Pedoman Teknis Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau Klas 1a. Regulasi ini menjadi instrumen vital karena menyederhanakan standar green building yang sebelumnya kompleks menjadi parameter yang aplikatif untuk bangunan sederhana satu lantai, mencakup aspek efisiensi energi, air, dan material [18].

Dalam konteks global, IGAHP disusun berdasarkan studi komprehensif bersama Bank Dunia yang tertuang dalam laporan "Resilient Foundations, Green Futures". Laporan ini menekankan bahwa integrasi standar hijau pada perumahan MBR (Masyarakat Berpenghasilan Rendah) bukan hanya soal mitigasi iklim, tetapi juga strategi adaptasi vital terhadap risiko bencana hidrometeorologi yang semakin meningkat di Indonesia. Studi tersebut memproyeksikan bahwa tanpa intervensi efisiensi (seperti yang ditawarkan EDGE atau standar BGH Klas 1a), sektor perumahan akan menjadi salah satu penyumbang emisi karbon terbesar seiring dengan laju urbanisasi [19]. Oleh karena itu, IGAHP memandatkan penggunaan standar sertifikasi yang terukur (seperti EDGE atau GreenShip) sebagai syarat kepatuhan (compliance) dalam penyaluran bantuan pembiayaan perumahan di masa depan.

C. Green Housing

Green housing atau perumahan hijau merepresentasikan paradigma hunian yang dirancang, dibangun, dan dioperasikan untuk meminimalkan dampak lingkungan negatif sekaligus memaksimalkan efisiensi sumber daya. Dalam konteks perumahan rakyat, konsep ini tidak sekadar berfokus pada ekologi, tetapi juga bertujuan menciptakan lingkungan hunian yang sehat, nyaman, dan hemat biaya bagi penghuninya.

Prinsip fundamental green housing berlandaskan pada dua pilar utama:

- a. Efisiensi Energi: Dicapai melalui pendekatan desain pasif yang memaksimalkan pemanfaatan iklim alami—seperti orientasi bangunan yang tepat, peneduh (shading), dan ventilasi alami—serta penggunaan sistem aktif yang efisien [6,7] .
- b. Konservasi Air: Difokuskan pada pengurangan konsumsi air bersih melalui penggunaan armatur hemat air (low-flow fixtures) dan potensi pemanfaatan sumber air alternatif seperti air hujan [8] .

Di Indonesia, urgensi penerapan konsep ini pada rumah subsidi semakin menguat dengan adanya inisiatif Indonesia Green Affordable Housing Program (IGAHP). Program ini menegaskan bahwa penyediaan hunian terjangkau tidak boleh mengorbankan kualitas lingkungan, melainkan harus mengintegrasikan standar efisiensi untuk menjamin keberlanjutan ekonomi penghuni di masa depan .

D. Standar EDGE

Excellence in Design for Greater Efficiencies (EDGE) adalah sistem sertifikasi yang dikembangkan oleh IFC (International Finance Corporation) khusus untuk pasar negara berkembang. Berbeda dengan sistem rating lain yang mungkin terlalu kompleks atau mahal, EDGE dirancang untuk menyelaraskan tujuan keberlanjutan dengan keterjangkauan [9]. Berbeda dengan sistem rating konvensional yang sering kali berbasis poin (point-based) dan preskriptif, EDGE menggunakan pendekatan berbasis kinerja (performance-based) yang terukur secara kuantitatif pada tiga kategori utama [14]:

1. Energi (Energy): Berfokus pada pengurangan konsumsi energi operasional bangunan melalui desain pasif (orientasi, bukaan, peneduh) dan sistem aktif yang efisien. Target utamanya adalah menurunkan intensitas penggunaan energi ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{tahun}$) dibandingkan bangunan standar lokal.
2. Air (Water): Menilai efisiensi siklus air melalui penggunaan armatur hemat air (low-flow fixtures) dan strategi daur ulang, yang bertujuan mengurangi volume air bersih (m^3/tahun) yang dikonsumsi penghuni.
3. Energi Terkandung dalam Material (Embodied Energy in Materials): Mengukur total energi yang diperlukan untuk ekstraksi, pemrosesan, manufaktur, dan pengangkutan material bangunan. Kategori ini krusial karena pada bangunan sederhana, porsi emisi karbon dari material sering kali lebih dominan daripada emisi operasionalnya.

Untuk rumah subsidi atau perumahan sederhana, EDGE menawarkan fleksibilitas yang lebih tinggi dibandingkan sertifikasi lain seperti LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) atau BREEAM. Studi komparatif menunjukkan bahwa sertifikasi berbasis poin sering kali menuntut persyaratan administratif yang rumit dan biaya konsultan yang mahal ("soft costs"), yang menjadi hambatan finansial utama bagi pengembang perumahan rakyat [15]. Sebaliknya, EDGE menghilangkan hambatan ini melalui perangkat lunak gratis yang memungkinkan pemodelan cepat tanpa memerlukan simulasi energi yang kompleks, serta membebaskan desainer memilih jalur efisiensi mana pun selama target penghematan 20% tercapai. Pendekatan yang ramping ini menjadikan EDGE solusi yang paling layak secara tekno-ekonomis untuk diadopsi pada proyek perumahan massal dengan anggaran terbatas [16].

Metodologi EDGE berfokus pada pendekatan kuantitatif dengan membandingkan desain bangunan yang diusulkan (Improved Case) terhadap bangunan standar lokal (Base Case). Syarat mutlak untuk dikategorikan sebagai bangunan hijau dalam standar ini adalah pencapaian penghematan minimal 20% dalam tiga kategori [4]: Energi, Air, dan Energi yang Terkandung dalam Material (Embodied Energy). Sistem EDGE dirancang untuk menyederhanakan proses pemodelan bangunan hijau melalui fitur "Data Default" yang cerdas. Saat pengguna memilih lokasi geografis dan jenis bangunan proyek, perangkat lunak secara otomatis mengisi parameter input dengan asumsi yang mencerminkan praktik konstruksi standar dan kondisi pasar lokal di wilayah tersebut. Dalam perhitungan konsumsi energi untuk pemanasan dan pendinginan, metodologi default EDGE didasarkan pada standar Eropa CEN dan ISO 13790:2008 yang menggunakan model quasi-steady-state [4]. Sementara itu, asumsi efisiensi default untuk peralatan HVAC (seperti COP dasar untuk AC atau efisiensi boiler) sering kali merujuk pada standar ASHRAE 90.1-2016, terutama untuk rujukan dasar di negara maju atau sebagai baseline global jika data lokal tidak tersedia. Keunggulan EDGE dalam konteks penelitian ini adalah ketersediaan basis data biaya dan efisiensi yang spesifik untuk lokasi Indonesia.

E. Biaya Tambahan Fitur Hijau

Dalam studi kelayakan fitur hijau, variabel biaya tidak dilihat dari total harga komponen, melainkan dari "Biaya Tambahan" (Incremental Cost). Istilah ini didefinisikan sebagai selisih biaya yang diperlukan untuk meningkatkan spesifikasi dari komponen standar (konvensional) menjadi komponen hijau. Studi empiris menunjukkan bahwa banyak fitur hijau, terutama pada sektor efisiensi air (seperti keran aerator dan kloset dual

flush) dan material pasif (seperti cat atap reflektif), telah mencapai kematangan pasar (market maturity). Hal ini menyebabkan biaya tambahannya menjadi sangat rendah atau mendekati nol, sehingga mematahkan paradigma bahwa bangunan hijau harus selalu mahal [5]. Konsep ini menjadi variabel kunci dalam analisis matriks biner penelitian ini untuk menyeleksi fitur yang ramah anggaran.

METODE PENELITIAN

A. Objek Penelitian

Objek penelitian adalah rumah subsidi tapak Tipe 30 dengan luas tanah 66 m² yang dikembangkan oleh PT Gama Waskita Graha di Bangil, Jawa Timur. Rumah baseline ini dibangun dengan spesifikasi konvensional: dinding bata merah, atap genteng beton (SRI rendah), kaca bening 5mm, dan sanitasi standar tanpa fitur hemat air.

B. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Proses identifikasi fitur dilakukan melalui metode Multi-stage Screening Process (penyaringan bertingkat) yang terdiri dari tiga tahapan sistematis:

1. Tahap 1: Inventarisasi Berbasis EDGE

Peneliti melakukan inventarisasi opsi strategi efisiensi yang tersedia dalam database aplikasi EDGE. Penyaringan awal dilakukan dengan membatasi opsi hanya pada fitur yang relevan untuk rumah tapak (landed house) di iklim tropis dan ketersediaan material di pasar lokal Indonesia.

2. Tahap 2: Validasi Ahli (Expert Judgment)

Daftar fitur potensial divalidasi melalui diskusi dengan tenaga ahli bersertifikasi GreenShip Professional (GP). Validasi ini bertujuan menilai aspek keterbangunan (constructability) dan kesederhanaan operasional. Setiap fitur dievaluasi berdasarkan tiga parameter teknis utama untuk memastikan kesesuaiannya dengan tipologi rumah sederhana. Sebuah fitur akan otomatis digugurkan jika gagal memenuhi salah satu dari indikator berikut:

- a. Keterbangunan (Constructability): Menilai tingkat kesulitan pelaksanaan di lapangan. Fitur dapat dikerjakan oleh tukang lokal dengan metode konstruksi konvensional tanpa memerlukan alat berat khusus atau sertifikasi keahlian spesifik.
- b. Ketersediaan Rantai Pasok (Supply Chain Availability): Menilai kemudahan pengadaan material. Material tersedia secara off-the-shelf (siap beli) di toko bangunan lokal atau distributor tingkat kabupaten/kota, tanpa memerlukan sistem pemesanan khusus (indent) jangka panjang yang berisiko menghambat durasi proyek.
- c. Kesederhanaan Operasional (Operational Simplicity): Menilai beban perawatan pasca-huni bagi MBR. Fitur bersifat low-maintenance (minim perawatan) atau zero-maintenance. Teknologi yang memerlukan penggantian suku cadang rutin (konsumabel) atau langganan jasa teknisi khusus dinilai tidak layak secara ekonomi bagi penghuni rumah subsidi.

3. Tahap 3: Analisis Matriks Biner

Fitur yang lolos validasi dipetakan menggunakan matriks biner/logikal berdasarkan dua variabel independen 15:

- a. Variabel Sustainable (Dampak): Bernilai 1 jika fitur memberikan penghematan energi (kWh) atau air (m³) yang terukur signifikan. Bernilai 0 jika dampaknya minor.

- b. Variabel Cost (Biaya): Bernilai 1 (Biaya Rendah) jika estimasi incremental cost dari EDGE bernilai nol atau sangat rendah. Bernilai 0 (Biaya Tinggi) jika memerlukan biaya premium yang signifikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Identifikasi Fitur

Berdasarkan proses penyaringan, penelitian ini menetapkan enam fitur utama yang terbagi dalam kategori efisiensi energi dan air:

Tabel 1. Fitur *Green Housing*

Aspek	Fitur Terpilih	Spesifikasi Teknis	Justifikasi
Energi	Reflective Roof	SRI 90	Memantulkan panas pada atap
	Low-U Glass	U-Value 4.06, SHGC 0.39	Menahan panas masuk melalui kaca
	Natural Ventilation	Optimalisasi Buka-an	Sirkulasi udara silang
Air	Keran Aerator	Debit 8 liter/menit	Mengurangi debit air wastafel/dapur
	Kloset Dual Flush	6 L (besar) / 3 L (kecil)	Opsi pembilasan fleksibel
	Showerhead	Debit 6 liter/menit	Menggantikan gayung/bak mandi boros

Berdasarkan tabel inventarisasi di atas, terlihat bahwa proses penyaringan awal telah mereduksi opsi strategi efisiensi secara signifikan. Dari puluhan solusi yang ditawarkan oleh standar EDGE, penelitian ini mengerucutkan pilihan pada fitur-fitur yang bersifat passive design dan teknologi tepat guna.

Beberapa fitur yang umum pada bangunan komersial, seperti Solar Photovoltaics (PV), Smart Meters, atau sistem pengondisian udara berefisiensi tinggi (High COP AC), sengaja dieliminasi pada tahap validasi ahli. Keputusan eliminasi ini didasarkan pada pertimbangan kompleksitas operasional dan ketersediaan rantai pasok lokal. Sebagai pembanding untuk memperkuat validitas seleksi, analisis matriks biner ini juga menjelaskan mengapa fitur teknologi hijau populer lainnya, seperti Pemanas Air Tenaga Surya (Solar Water Heater), tereliminasi. Jika dipetakan, fitur ini sebenarnya memiliki nilai Sustainable=1 karena sangat efektif mengurangi beban listrik untuk pemanas air. Namun, fitur ini memiliki nilai Cost=0 (Biaya Tinggi) karena investasi awalnya yang mencapai jutaan rupiah per unit, jauh melampaui toleransi biaya rumah subsidi.

Berbeda dengan Low-U Glass yang tetap diadopsi meski berbiaya tinggi (Cost=0) karena urgensinya terhadap kenyamanan termal dasar di iklim tropis, Solar Water Heater dinilai tidak esensial. Bagi penghuni MBR di wilayah Bangil yang beriklim panas dataran rendah, ketersediaan air panas bukanlah kebutuhan primer. Oleh karena itu, fitur dengan profil High Cost - Low Priority seperti ini secara logis digugurkan untuk menjaga keterjangkauan harga jual rumah. Tenaga ahli (GreenShip Professional) menekankan bahwa untuk konteks rumah subsidi di wilayah Bangil, fitur yang dipilih harus memiliki

karakteristik sederhana, low maintenance (minim perawatan) dan materialnya mudah diperoleh di toko bangunan setempat tanpa perlu pemesanan khusus (special order).

Oleh karena itu, fitur yang lolos seleksi didominasi oleh elemen arsitektural pasif (seperti desain bukaan dan spesifikasi material atap) serta perangkat saniter standar pasar. Pendekatan ini memastikan bahwa penerapan fitur hijau tidak akan mengubah metode konstruksi secara drastis maupun membebani penghuni dengan teknologi yang sulit dirawat di kemudian hari.

B. Hasil Identifikasi Fitur

Untuk menentukan keputusan akhir, penelitian ini menggunakan matriks biner yang memetakan fitur berdasarkan dampak (Sustainable) dan biaya tambahan (Cost).

- Variabel Sustainable (1): Fitur memiliki dampak penghematan terukur.
- Variabel Cost (1): Fitur memiliki biaya tambahan nol atau sangat rendah (low incremental cost).

Tabel 2. Perbandingan *Sustainable* dan *Cost*

Aspek	Fitur Green Housing	Sustainable (Impact)	Cost (EDGE Incremental Cost)
Energi	Reflective Roof (SRI 90)	1	1
	Low-U Glass (U-Value 4.06, SHGC 0.39)	1	0
	Natural Ventilation	1	1
Air	Keran Aerator 8 L/min	1	1
	Kloset Dual Flush 6/4 L	1	1
	Showerhead 6 L/min	1	1

C. Pembahasan

Untuk Reflective Roof (SRI 90) – Solusi Termal Murah Fitur ini dipilih karena atap adalah bidang yang menerima paparan matahari paling intensif. Mekanisme kerjanya berdasarkan albedo tinggi yang memantulkan gelombang pendek radiasi matahari [6]. Secara biaya (Nilai Cost=1), fitur ini sangat efisien karena nilai SRI 90 dapat dicapai hanya dengan menggunakan cat atap berwarna putih atau cerah, yang harganya relatif setara dengan cat warna gelap di pasaran.

Natural Ventilation – Efisiensi Tanpa Biaya Ventilasi alami mendapatkan skor sempurna (Sustainable=1, Cost=1). Ini adalah strategi pendinginan pasif fundamental untuk membuang panas internal dan menggantinya dengan udara segar. Fitur ini memiliki zero incremental cost karena merupakan hasil dari keputusan desain arsitektural (penempatan jendela/lubang angin yang tepat), bukan pembelian alat tambahan, sehingga tidak membebani RAB.

Sistem Efisiensi Air (Aerator, Dual Flush, Shower) Ketiga fitur sanitasi ini dikategorikan sebagai Cost=1 karena teknologi hemat air telah mencapai kematangan pasar (market maturity).

- Aerator: Memecah aliran air menjadi butiran halus bercampur udara, mengurangi volume tanpa mengurangi sensasi tekanan air.

- Kloset Dual Flush: Memberikan opsi pembilasan yang signifikan menghemat air dibandingkan sistem siram manual atau single flush.

Low-U Glass – Trade-off Performa dan Biaya Ini adalah satu-satunya fitur dengan nilai $Cost=0$ (Biaya Tinggi). Kaca dengan U-Value 4.06 dan SHGC 0.39 memerlukan proses manufaktur pelapisan logam mikroskopis (low-emissivity coating) yang membuatnya lebih mahal dari kaca polos standar [7]. Namun, fitur ini tetap dipilih karena jendela adalah "titik lemah" termal bangunan. Penggunaan kaca ini berfungsi sebagai perisai transparan yang krusial untuk mencegah akumulasi panas (heat buildup) di dalam rumah.

Keberhasilan implementasi bangunan hijau pada sektor perumahan subsidi sangat bergantung pada ketersediaan material di pasar lokal (supply chain availability). Analisis pasar di wilayah Bangil dan sekitarnya menunjukkan bahwa lima dari enam fitur yang direkomendasikan (Reflective Roof, Ventilasi Alami, Aerator, Dual Flush, Showerhead) merupakan produk komoditas yang bersifat *off-the-shelf*. Fitur seperti cat atap reflektif tidak memerlukan pemesanan cat khusus berteknologi tinggi; nilai SRI 90 dapat dicapai dengan menggunakan cat eksterior standar berwarna putih atau cerah yang stoknya melimpah di tingkat distributor kabupaten. Demikian pula dengan fitur sanitasi hemat air. Produsen armatur sanitasi massal saat ini telah menjadikan mekanisme dual flush dan aerator sebagai standar produksi dasar mereka, sehingga kontraktor tidak perlu mencari pemasok niche yang mahal. Dari aspek ekonomi, pemilihan fitur-fitur ini tidak akan melanggar batasan harga jual (plafon harga) yang ditetapkan pemerintah untuk skema FLPP. Hal ini karena strategi yang diterapkan adalah substitusi, bukan adisi.

KESIMPULAN

Berisi Identifikasi fitur bangunan hijau untuk rumah subsidi menghasilkan kesimpulan bahwa strategi yang paling layak adalah kombinasi antara desain pasif dan teknologi sederhana. Lima dari enam fitur yang terpilih (Reflective Roof, Natural Ventilation, dan tiga alat sanitasi) memiliki profil biaya rendah atau nol, membuktikan bahwa bangunan hijau tidak selalu identik dengan biaya mahal. Pengecualian terjadi pada Low-U Glass yang memerlukan investasi lebih tinggi, namun dinilai esensial untuk kenyamanan termal. Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan "integrasi selektif" memungkinkan rumah subsidi mencapai standar efisiensi EDGE tanpa membebani biaya konstruksi secara berlebihan.

Identifikasi fitur bangunan hijau untuk rumah subsidi menghasilkan strategi yang paling layak secara teknis dan ekonomis adalah kombinasi antara desain pasif dan teknologi sederhana. Lima dari enam fitur yang terpilih—yaitu Reflective Roof, Ventilasi Alami, serta tiga fitur efisiensi air (Aerator, Dual Flush, Showerhead)—memiliki profil biaya tambahan nol atau sangat rendah (low incremental cost). Hal ini membuktikan hipotesis bahwa penerapan standar bangunan hijau tidak selalu berkorelasi lurus dengan kenaikan biaya konstruksi yang signifikan. Pengecualian terjadi pada Low-U Glass yang memerlukan investasi awal lebih tinggi, namun fitur ini dinilai tetap esensial untuk dipertahankan guna menjamin kenyamanan termal penghuni.

Temuan ini memiliki tingkat replikabilitas yang tinggi untuk konteks yang lebih luas di Indonesia. Mengingat karakteristik iklim Bangil yang merepresentasikan kondisi tropis dataran rendah, kondisi dominan di sebagian besar wilayah urbanisasi Indonesia, maka paket fitur yang direkomendasikan ini dapat diadopsi sebagai standar acuan (baseline)

untuk proyek sejenis di provinsi lain. Selain itu, karena regulasi spesifikasi teknis dan batasan harga rumah subsidi diatur secara nasional melalui skema FLPP, logika efisiensi biaya yang dihasilkan dalam penelitian ini relevan untuk diaplikasikan oleh pengembang di berbagai wilayah tanpa memerlukan modifikasi yang signifikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. Farida Rachmawati, ST., MT. selaku dosen pembimbing atas arahan, diskusi mendalam, dan bimbingan berharga selama proses penelitian ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada PT Gama Waskita Graha yang telah memberikan izin penelitian serta memfasilitasi akses data proyek pada Perumahan Bangil Kota Baru. Dukungan fasilitas dan akademik dari Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) juga sangat membantu terselesaikannya penelitian ini. Terakhir, terima kasih kepada Ary D Jatmiko, ST., MT. selaku Greenship Professional yang telah membantu dalam proses validasi fitur bangunan hijau.

DAFTAR REFERENSI

1. Kementerian PUPR. (2019). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 20/PRT/M/2019.
2. IEA & UNEP. (2022). Global Status Report for Buildings and Construction 2022.
3. Chan, A. P. C., & Adabre, M. A. (2019). Bridging the gap between sustainable housing and affordable housing: The required critical success factors (CSFs). *Building and Environment*.
4. IFC. (2021). EDGE User Guide Version 3.0. International Finance Corporation.
5. Kats, G. (2003). The Costs and Financial Benefits of Green Buildings. *Capital E*.
6. Santamouris, M., & Kolokotsa, D. (2013). Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art. *Energy and Buildings*, 57.
7. Sadineni, S. B., et al. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8)
8. International Finance Corporation. (2024a). Module 1.1: Green buildings in context - Global impacts of buildings and resource efficiency. EDGE Academy.
9. [International Finance Corporation. (2024b). Module 1.2: Introduction to EDGE - Green buildings in context. EDGE Academy.
10. Isimbi, A., & Park, J. (2022). The analysis of the EDGE certification system on residential complexes to improve sustainability and affordability. *Buildings*, 12(10), 1729.
11. Bouzarovski, S., & Petrova, S. (2015). A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty–fuel poverty binary. *Energy Research & Social Science*, 10, 31-40.
12. Hernández, D., & Bird, S. (2010). Energy Burden and the Need for Integrated Low-Income Housing and Energy Policy. *Poverty & Public Policy*, 2(4), 5-25.
13. Kontokosta, C. E., Reina, V. J., & Bonczak, B. (2020). Energy Cost Burdens for Low-Income and Minority Households: Evidence From Energy Benchmarking and Audit Data in Five U.S. Cities. *Journal of the American Planning Association*, 86(1), 89-105.

14. Tushar, Q., Bhuiyan, M. A., Zhang, G., & Maqsood, T. (2020). An integrated approach for assessing the sustainability of buildings in developing countries: The case of EDGE. *Journal of Cleaner Production*, 277, 124060.
15. Mattoni, B., Guattari, C., Evangelisti, L., Bisegna, F., Gori, P., & Asdrubali, F. (2018). Critical review and methodological approach to evaluate the performance of sustainable rating systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 650-660.
16. Li, Y., Chen, X., Wang, X., Xu, Y., & Chen, P. (2017). A review of studies on green building assessment methods by comparative analysis. *Energy and Buildings*, 146, 152-167.
17. Kementerian PUPR. (2023). Roadmap Indonesia Green Affordable Housing Program (IGAHP). Direktorat Jenderal Pembiayaan Infrastruktur Pekerjaan Umum dan Perumahan.
18. Kementerian PUPR. (2023). Surat Edaran Direktur Jenderal Cipta Karya Nomor 03/SE/Dc/2023 tentang Pedoman Teknis Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau Klas 1a. Jakarta: Direktorat Jenderal Cipta Karya.
19. World Bank. (2024). Resilient Foundations, Green Futures: A Roadmap for Low-Income Housing in Indonesia. Washington, DC: World Bank Group.
20. Ma, Z., Cooper, P., Daly, D., & Ledo, L. (2012). Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art. *Energy and Buildings*, 55, 889-902.
21. Swan, W., Fitton, R., & Brown, P. (2015). A retrofit strategy for social housing: The whole house approach. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 33(2).