

Strategi Retrofitting untuk Penghematan Energi melalui Kenyamanan Termal pada Bangunan Tua di Indonesia

Rizqy Harlen Sharmfayrou¹, Kemal Taufiq Sukarya^{2*}, Muhammad Rizky Ardiansyah³

^{1,2,3} Institut Teknologi Nasional Bandung

*Corresponding email: kemalsukarya40@gmail.com

Abstrak: Krisis iklim global menuntut peningkatan efisiensi energi, terutama pada sektor bangunan. Di Indonesia, banyak bangunan tua seperti bangunan publik skala besar, memiliki performa termal yang kurang optimal karena dirancang tanpa mempertimbangkan karakteristik iklim tropis lembap. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan strategi retrofitting sebagai langkah efektif dalam meningkatkan efisiensi energi sekaligus kenyamanan termal pada bangunan-bangunan tersebut. Metode yang digunakan adalah studi literatur (literature review) dengan pendekatan deskriptif-komparatif. Penelitian ini berfokus pada dua studi kasus utama: Masjid Agung Banten, sebagai representasi bangunan cagar budaya yang memprioritaskan konservasi dan strategi pasif, dan Masjid Istiqlal, sebagai bangunan publik skala besar yang menerapkan retrofit komprehensif dengan fokus pada efisiensi energi dan life cycle cost (LCC). Prinsip sustainable design dan building science dijadikan dasar dalam menganalisis efektivitas strategi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi retrofitting pada bangunan cagar budaya (Masjid Banten) menekankan pada intervensi pasif, non-invasif, dan reversibel untuk mengatasi kenyamanan termal. Pada bangunan publik modern (Masjid Istiqlal), retrofit komprehensif (termasuk sistem aktif dan PV) terbukti valid secara ekonomi melalui analisis LCC dan berhasil menurunkan Energy Use Intensity (EUI) secara signifikan. Penelitian ini memberikan wawasan mengenai dua pendekatan retrofitting yang kontekstual dan berkelanjutan di Indonesia.

Kata kunci: *Building Science, Iklim Tropis, Masjid, Strategi Retrofitting, Sustainable Design.*

Abstract: The global climate crisis demands increased energy efficiency, especially in the building sector. In Indonesia, many old buildings, such as large-scale public buildings, have suboptimal thermal performance because they were designed without considering the characteristics of a humid tropical climate. This study aims to analyze the implementation of retrofitting strategies as an effective measure to improve energy efficiency and thermal comfort in these buildings. The method used is a literature review with a descriptive-comparative approach. This study focuses on two main case studies: the Grand Mosque of Banten, as a representative cultural heritage building that prioritizes conservation and passive strategies, and the Istiqlal Mosque, as a large-scale public building that implemented a comprehensive retrofit with a focus on energy efficiency and life cycle cost (LCC). The principles of sustainable design and building science are used as the basis for analyzing the effectiveness of the strategy. The results show that the retrofitting strategy in the cultural heritage building (Banten Mosque) emphasizes passive, non-invasive, and reversible interventions to address thermal comfort. In a modern public building (Istiqlal Mosque), a comprehensive retrofit (including active and PV systems) was proven economically valid through LCC analysis and significantly reduced Energy Use Intensity (EUI). This study provides insights into two contextual and sustainable retrofitting approaches in Indonesia.

Keywords: *Building Science, Tropical Climate, Mosque, Retrofitting Strategy, Sustainable Design.*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Krisis iklim global yang terjadi saat ini menuntut perubahan mendasar dalam cara kita merancang dan mengelola bangunan. Sektor konstruksi diketahui berkontribusi sekitar 40% terhadap emisi karbon dioksida dunia dan hampir sepertiga dari konsumsi energi akhir global (Aliamin, 2021; Cao et al., 2016). Kondisi ini menegaskan perlunya upaya strategis untuk mengurangi konsumsi energi, terutama melalui peningkatan efisiensi pada bangunan eksisting yang umumnya belum dirancang dengan prinsip keberlanjutan.

Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan Peraturan Menteri PUPR No. 21 Tahun 2021 tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau sebagai upaya untuk mendorong sektor konstruksi menuju arah yang lebih berkelanjutan.

Bangunan tua dan bangunan industri di kota besar menjadi fokus yang relevan untuk isu ini. Sebagian besar bangunan tersebut memiliki sistem ventilasi, selubung bangunan, dan pencahayaan yang tidak efisien terhadap energi serta menimbulkan ketidaknyamanan termal

bagi penggunaannya. Khusus untuk bangunan cagar budaya seperti Masjid Agung Banten, tantangannya bersifat ganda: meningkatkan performa termal sekaligus menyeimbangkan dengan prinsip-prinsip konservasi arsitektur (Setyarandi & Saputro, 2025). Menurut Deyranlou, peningkatan efisiensi energi melalui renovasi berkelanjutan (sustainable renovation) merupakan langkah penting untuk menurunkan jejak karbon, sekaligus meningkatkan kenyamanan dan kualitas lingkungan binaan (Deyranlou & Afzali, 2023). Dalam hal ini, pendekatan retrofitting menjadi metode efektif untuk memperpanjang umur bangunan sekaligus mengurangi konsumsi energi operasional tanpa perlu membangun ulang seluruh struktur (Ganorkar, 2023; Imani et al., 2024)

Retrofitting atau pembaruan kinerja bangunan merupakan proses penerapan strategi teknis dan desain untuk meningkatkan performa bangunan yang sudah ada. Proses ini mencakup modifikasi selubung bangunan, peningkatan sistem HVAC, penggantian pencahayaan dengan sistem hemat energi, serta penerapan teknologi energi terbarukan seperti panel fotovoltaik (Ojong Felix Enow et al., 2025). Studi dari Muralidhar menunjukkan bahwa penerapan green retrofit di kampus pendidikan mampu menurunkan konsumsi energi hingga 81% pada sistem pencahayaan, serta menghemat air hingga 35%, membuktikan efektivitas pendekatan retrofit terhadap efisiensi sumber daya (Muralidhar et al., 2025).

Selain itu, integrasi strategi pasif dan aktif terbukti mampu menciptakan peningkatan signifikan dalam kenyamanan termal ruang dalam. Hasil riset oleh (Xue & Zhao, 2021) menunjukkan bahwa pengaturan ventilasi alami dan peningkatan material insulasi berpengaruh langsung terhadap peningkatan kenyamanan pengguna. Strategi retrofit yang berbasis ilmiah dan adaptif terhadap konteks lokal menjadi kunci untuk mengurangi konsumsi energi sekaligus meningkatkan kualitas lingkungan kerja dan hunian di kota-kota tropis.

Dalam kerangka pembangunan berkelanjutan, pengembangan strategi retrofitting juga sejalan dengan target Net Zero Emission 2060. Retrofitting bukan hanya solusi teknis, tetapi juga langkah sosial-ekonomi yang berpotensi meningkatkan produktivitas dan kesejahteraan pengguna bangunan. Selain itu, pendekatan ini mendukung pelestarian arsitektur warisan dan nilai-nilai historis kota seperti Bandung yang memiliki banyak bangunan bersejarah dengan karakter arsitektur kolonial dan vernakular (Maliatie et al., 2022; Nur et al., 2025).

Secara keseluruhan, latar belakang ini menegaskan bahwa krisis iklim global dan kontribusi signifikan sektor bangunan terhadap konsumsi energi (baik di tingkat global maupun nasional) menuntut adanya intervensi mendesak. Di Indonesia, tantangan ini diperburuk oleh banyaknya bangunan tua yang tidak dirancang untuk iklim tropis lembab, sehingga menyebabkan konsumsi energi tinggi dan ketidaknyamanan termal. Meskipun kebijakan bangunan hijau telah ada, implementasinya masih menghadapi kesenjangan.

Pendekatan retrofitting (pembaruan kinerja bangunan) diidentifikasi sebagai solusi strategis yang paling efektif. Pendekatan ini tidak hanya mampu meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal secara signifikan (melalui strategi pasif dan aktif), tetapi juga menawarkan solusi untuk tantangan ganda pada bangunan cagar budaya, di mana peningkatan performa harus seimbang dengan prinsip konservasi. Dengan demikian, *retrofitting* menjadi kunci untuk mengurangi jejak karbon sektor bangunan dan mendukung target *Net Zero Emission* 2060, sekaligus melestarikan nilai historis arsitektur di Indonesia. Tujuan penelitian ini yaitu merumuskan rekomendasi strategi retrofit yang kontekstual bagi bangunan bersejarah di Indonesia melalui studi komparatif antara pendekatan pasif-konservatif pada Masjid Agung Banten dan pendekatan komprehensif berbasis efisiensi energi serta *life cycle cost* pada Masjid Istiqlal.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Objek Penelitian

Objek penelitian ini berfokus pada dua studi kasus utama yang merepresentasikan tipologi bangunan tua di Indonesia:

1. Masjid Agung Banten: Dipilih sebagai representasi bangunan cagar budaya (heritage building). Fokus analisis adalah pada strategi green retrofitting yang bersifat pasif, non-invasif, dan reversibel untuk meningkatkan kenyamanan termal dengan tetap mematuhi prinsip-prinsip konservasi.
2. Masjid Istiqlal: Dipilih sebagai representasi bangunan publik modern skala besar. Fokus analisis adalah pada retrofit komprehensif yang mencakup sistem aktif (MEP, lighting, PV) dan evaluasi efisiensi energi (Energy Use Intensity - EUI) serta kelayakan finansial jangka panjang melalui analisis Life Cycle Cost (LCC)

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif-deskriptif dengan pendekatan studi literatur (*literature review*). Pendekatan ini dipilih untuk menganalisis dan mensintesis informasi dari studi kasus yang telah dipublikasikan mengenai strategi retrofitting pada bangunan di Indonesia. Fokus utama adalah melakukan analisis komparatif terhadap dua objek studi yang berbeda karakteristiknya.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif-komparatif.

1. Analisis Deskriptif: Masing-masing studi kasus (Banten dan Istiqlal) dideskripsikan secara rinci terkait masalah, strategi, dan hasilnya berdasarkan data dari literatur.
2. Analisis Komparatif: Kedua studi kasus dibandingkan untuk mengidentifikasi persamaan dan perbedaan dalam pendekatan retrofitting. Perbandingan ini digunakan untuk mensintesis pembelajaran yang relevan mengenai strategi retrofit yang kontekstual di iklim tropis Indonesia, dengan mempertimbangkan faktor usia bangunan, status cagar budaya, dan skala.

HASIL PENELITIAN

Retrofitting dan Efisiensi Energi

Retrofitting merupakan serangkaian intervensi teknis dan desain yang dilakukan untuk meningkatkan kinerja bangunan eksisting agar lebih efisien, nyaman, dan ramah lingkungan (Ganorkar, 2023; Imani & Imani, 2021). Secara umum, *green retrofitting* mencakup pembaruan sistem HVAC, pencahayaan, selubung bangunan, serta penerapan sumber energi terbarukan untuk menurunkan konsumsi energi operasional (Ojong Felix Enow et al., 2025). Pendekatan ini tidak hanya memperpanjang umur bangunan, tetapi juga lebih hemat biaya dibandingkan pembangunan baru karena memanfaatkan infrastruktur yang sudah ada.

Meskipun tantangan seperti biaya awal, risiko teknis, dan keterbatasan tenaga ahli masih menjadi hambatan (Huo et al., 2025), manfaat jangka panjangnya terutama dalam bentuk penghematan energi dan peningkatan kualitas lingkungan dalam ruangan menjadikan retrofitting sebagai investasi strategis dalam konteks dekarbonisasi bangunan (Deyranlou & Afzali, 2023).

Menurut Imani, efektivitas strategi retrofit sangat dipengaruhi oleh tipologi bangunan dan karakteristik iklim lokal (Imani et al., 2024). Oleh karena itu, keberhasilan penerapan strategi retrofit harus mempertimbangkan kondisi tropis lembab yang memiliki intensitas radiasi tinggi dan fluktuasi suhu harian yang kecil. Kombinasi strategi pasif seperti peningkatan insulasi, penggunaan material reflektif, ventilasi silang, serta vegetasi pelindung dapat mengurangi beban pendinginan secara signifikan sebelum penerapan strategi aktif seperti HVAC efisien atau panel fotovoltaik (Wan et al., 2022).

Kenyamanan Termal dan Kualitas Ruang

Kenyamanan termal merupakan faktor penting dalam kinerja bangunan karena memengaruhi produktivitas dan kesehatan pengguna. (Xue & Zhao, 2021) menekankan bahwa kenyamanan termal bergantung pada interaksi antara kondisi fisik lingkungan (suhu udara, kelembapan, dan kecepatan udara) dan persepsi individu. Dalam konteks bangunan tropis, kenyamanan termal dapat dicapai dengan meminimalkan perbedaan antara suhu udara luar dan dalam melalui strategi pasif seperti ventilasi alami dan penggunaan material berkapasitas panas tinggi.

Karimi et al. (2023) menjelaskan bahwa *green buildings* berfokus pada peningkatan kualitas lingkungan dalam ruangan (*indoor environmental quality*), termasuk kenyamanan termal, pencahayaan alami, dan sirkulasi udara. Selain menghemat energi, bangunan yang nyaman secara termal juga berkontribusi terhadap kesejahteraan psikologis penggunanya. Hasil penelitian (Muralidhar et al., 2025) memperlihatkan bahwa penerapan pencahayaan hemat energi dan sistem ventilasi adaptif mampu meningkatkan efisiensi energi hingga 80% sekaligus memperbaiki kenyamanan visual dan termal ruang kerja.

Pendekatan human-centered design dalam bangunan hijau (Karimi et al., 2023) juga memperkuat relevansi integrasi kenyamanan termal ke dalam strategi retrofit. Artinya, keberhasilan retrofitting tidak hanya diukur dari efisiensi energi, tetapi juga dari bagaimana ruang hasil intervensi memberikan kenyamanan dan kesehatan bagi penggunanya.

Retrofitting Bangunan Tua dan Nilai Keberlanjutan

Bangunan tua memiliki nilai sejarah dan identitas kota yang tinggi, sehingga intervensi retrofit harus memperhatikan keseimbangan antara konservasi dan pembaruan fungsi (Nur et al., 2025). Menurut Malatie et al. (2022), arsitektur tradisional Nusantara telah lama menerapkan prinsip berkelanjutan secara alami melalui ventilasi silang, penggunaan material lokal seperti kayu dan bata tebal, serta tata orientasi terhadap matahari. Prinsip tersebut dapat dijadikan referensi dalam merancang strategi retrofit yang kontekstual di Indonesia.

Deyranlou & Afzali (2023) menambahkan bahwa sustainable renovation berperan penting dalam mengurangi jejak karbon melalui penggunaan teknologi efisien dan energi terbarukan. Pemerintah dapat mempercepat penerapan strategi ini dengan menyediakan insentif fiskal, seperti pembebasan pajak atau pinjaman berbunga rendah untuk proyek retrofit berkelanjutan. Selain itu, studi (Wan et al., 2022) di Beijing menunjukkan bahwa bangunan besar yang di-retrofit dapat menghemat energi hingga 40% melalui peningkatan selubung, pencahayaan, dan sistem HVAC. Temuan ini mengindikasikan bahwa penerapan konsep serupa di Indonesia memiliki potensi hasil yang sepadan jika disesuaikan dengan kondisi iklim lokal.

Building Science dan Pendekatan Berbasis Data

Ilmu *building science* menjadi dasar penting dalam merancang strategi retrofit yang terukur. Menurut Xu (2025), penerapan teknologi optimasi berbasis kecerdasan buatan seperti Graph Convolutional Network (GCN) dapat membantu mengevaluasi hubungan kompleks antara elemen struktur, energi, dan kenyamanan ruang. Pendekatan ini memungkinkan analisis performa bangunan secara holistik dan efisien.

Penelitian Setty & Sriram (2024) menunjukkan bahwa pendekatan berbasis data yang menggabungkan pengukuran lapangan, simulasi energi, dan sistem monitoring pasca-retrofit dapat meminimalkan risiko kegagalan implementasi. Dengan demikian, strategi retrofit yang diusulkan pada penelitian ini tidak hanya berorientasi pada efisiensi energi, tetapi juga berbasis bukti empiris dan teknologi prediktif.

Integrasi Keberlanjutan dan Kebijakan

Keterkaitan antara retrofitting dan kebijakan keberlanjutan sangat kuat. Menurut Huo et al. (2025), proyek retrofit publik sering menghadapi risiko kebijakan dan pembiayaan yang

kompleks, termasuk keterlambatan persetujuan pemerintah dan ketidakjelasan tanggung jawab antar pihak. Oleh karena itu, pengembangan kerangka kebijakan retrofit di Indonesia perlu memperkuat kolaborasi antar sektor serta menyediakan panduan teknis yang dapat diaplikasikan di lapangan.

Sharifi (2021) menegaskan bahwa keberhasilan transformasi menuju kota berkelanjutan bergantung pada mekanisme penilaian yang terintegrasi antara aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan. Dengan memasukkan indikator retrofit energi dalam penilaian bangunan hijau nasional, Indonesia dapat mempercepat transisi menuju pembangunan rendah karbon sesuai visi Net Zero Emission 2060.

Secara keseluruhan, kerangka teori ini menegaskan bahwa retrofitting merupakan strategi efektif untuk menurunkan konsumsi energi dan meningkatkan kenyamanan termal bangunan tua di iklim tropis. Keberhasilan strategi ini ditentukan oleh kombinasi antara pendekatan building science, prinsip desain berkelanjutan, serta dukungan kebijakan dan teknologi yang adaptif terhadap konteks lokal. Dalam konteks Bandung, penerapan strategi retrofit yang mengintegrasikan konservasi arsitektur, efisiensi energi, dan kenyamanan pengguna menjadi landasan penting bagi terciptanya bangunan industri tropis yang berkelanjutan.

Analisis Studi Kasus 1 : Masjid Agung Banten (Fokus Kenyamanan Termal & Konservasi)

Studi kasus pertama adalah *green retrofitting* pada Masjid Agung Banten (Gambar 1), sebuah bangunan cagar budaya dari abad ke-16. Tantangan utama di sini adalah menyeimbangkan antara peningkatan performa termal dan prinsip konservasi arsitektur (Setyarandi & Saputro, 2025).



Gambar 1. Masjid Agung Banten

Sumber : Setyarandi, 2025

1. Permasalahan Eksisting

Studi Setyarandi & Saputro (2025) mengidentifikasi masalah kenyamanan termal yang signifikan akibat iklim tropis lembab. Suhu dalam ruangan tercatat mencapai 30-32°C dengan kelembaban relatif 70-85%, jauh di atas standar kenyamanan tropis (24-28°C). Penyebab utamanya adalah ventilasi silang yang terbatas, insulasi atap yang tidak memadai (panas radiasi matahari menembus langsung), dan kelembaban tinggi dari lokasi pesisir (Setyarandi & Saputro, 2025).

2. Strategi *Retrofitting* yang diusulkan

Strategi berfokus pada solusi pasif, yaitu:

- a. Optimalisasi Ventilasi: Menambahkan panel kisi (*lattice*) kayu tambahan atau jalusi di atas bukaan yang ada untuk mendorong ventilasi silang (cross ventilation) tanpa mengubah fasad utama.
 - b. Insulasi Alami: Penggunaan material insulasi alami seperti serat kelapa (coconut fiber) atau anyaman bambu di bawah lapisan atap untuk mengurangi perambatan panas radiasi.
 - c. Cat Reflektif: Aplikasi cat reflektif ramah lingkungan pada permukaan atap untuk meminimalkan penyerapan panas.
 - d. Vegetasi: Penambahan vegetasi di sekitar area pelataran masjid untuk memperbaiki iklim mikro dan mengurangi suhu ambien (Setyarandi & Saputro, 2025).
3. Implikasi
- Studi kasus Masjid Banten menunjukkan bahwa retrofitting pada bangunan heritage tidak harus menggunakan teknologi canggih. Prioritasnya adalah kenyamanan termal pengguna (jamaah) melalui strategi pasif yang menghormati otentisitas dan nilai sejarah bangunan (Setyarandi & Saputro, 2025).

Analisis Studi Kasus 2: Masjid Istiqlal (Fokus Efisiensi Energi & Life Cycle Cost)

Studi kasus kedua adalah retrofitting komprehensif Masjid Istiqlal (dibangun 1978) (Gambar 2), yang merupakan proyek renovasi besar antara 2019-2021. Fokusnya adalah modernisasi, efisiensi energi, dan justifikasi ekonomi (Kusumastuti et al., 2025).



Gambar 2. Masjid Istiqlal Jakarta
Sumber : Data Pribadi, 2025

1. Permasalahan Eksisting: Sebagai bangunan publik skala besar, Masjid Istiqlal memiliki konsumsi energi yang sangat tinggi. Proyek retrofit ini menghadapi persepsi umum bahwa "bangunan hijau itu mahal", sehingga pembuktian kelayakan finansial menjadi krusial (Kusumastuti et al., 2025).
2. Strategi Retrofitting yang Diimplementasikan: Intervensi yang dilakukan bersifat komprehensif, mencakup strategi pasif dan aktif:
 - a. Sistem MEP dan Pencahayaan: Penggantian total sistem Mechanical, Electrical, Plumbing (MEP), termasuk HVAC, dan penggunaan sistem pencahayaan LED hemat energi yang terkontrol.
 - b. Sistem Kontrol (BMS): Implementasi Building Management System untuk memonitor dan mengoptimalkan penggunaan energi.
 - c. Energi Terbarukan: Pemasangan sistem Solar PV (Panel Surya) di area atap.
 - d. Efisiensi Air: Penerapan teknologi hemat air. Renovasi ini berhasil menjadikan Masjid Istiqlal sebagai tempat ibadah pertama di dunia yang menerima sertifikasi EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies) (Kusumastuti et al., 2025).

3. Hasil dan Implikasi Ekonomi: Retrofit ini memberikan hasil terukur:
 - a. Penghematan Energi: Energy Use Intensity (EUI) berhasil diturunkan sebesar 23.81%, dari 42 kWh/m²/tahun menjadi 32 kWh/m²/tahun.
 - b. Penghematan Finansial: Menghasilkan penghematan biaya listrik sekitar Rp 718 juta per tahun (Kusumastuti et al., 2025).
 - c. Analisis LCC: Studi (Kusumastuti et al., 2025) membuktikan bahwa meskipun investasi awal (CAPEX) tinggi, analisis Life Cycle Cost (LCC) menunjukkan bahwa penghematan operasional (OPEX) jangka panjang membuat proyek ini sangat layak secara finansial. Net Present Value (NPV) dari penghematan energi selama 20 tahun bernilai positif (berkisar Rp 6,12 - 13,96 Miliar, tergantung skenario diskon) (Kusumastuti et al., 2025).

PEMBAHASAN

Pembahasan Komparatif

Analisis komparatif (Tabel 1) menunjukkan tidak ada satu solusi retrofitting yang cocok untuk semua. Untuk bangunan cagar budaya seperti Masjid Banten, intervensi harus "ringan" dan memprioritaskan strategi pasif (Setyarandi & Saputro, 2025). Sejalan dengan prinsip arsitektur vernakular yang adaptif (Maliatie et al., 2022). Sebaliknya, untuk bangunan publik modern skala besar seperti Istiqlal, investasi besar pada teknologi aktif terbukti efektif dan dapat dibenarkan secara ekonomi melalui analisis (Kusumastuti et al., 2025), yang mendukung argumen bahwa green building bukanlah biaya, melainkan investasi (Deyranlou & Afzali, 2023).

Tabel 1. Tabel Komparasi

No	Fitur	Masjid Agung Banten (Heritage)	Masjid Istiqlal (Publik Modern)
1	Tujuan Utama	Kenyamanan Termal dan Konservasi	Efisiensi energi, kelayakan ekonomi
2	Permasalahan	Suhu dan kelembapan tinggi	Konsumsi energi tinggi, biaya operasional
3	Strategi	Pasif, non-invasif, reversibel (kisi, insulasi alami, vegetasi)	Komprehensif, Aktif (MEP, LED, Solar PV, BMS)
4	Hasil Kunci	(Diusulkan) Peningkatan kenyamanan termal	Penurunan EUI 23.81%, menghemat Rp 718 Juta/tahun
5	Prinsip Kunci	Menjaga Otentisitas arsitektur	Validasi Life Cycle Cost (LCC) & Net Present Value (NPV)
6	Sertifikasi	-	EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies)

Pada studi kasus bangunan Mesjid Istiqlal dan juga Mesjid Agung Banten ada beberapa strategi retrofit yang sudah diterapkan dan berhasil mendapatkan kenyamanan termal di masing masing bangunan. Srategi yang berhasil diterapkan disajikan pada Tabel 2.

Penerapan Strategi *Retrofitting*

Penerapan Strategi Berbasis Teknologi Aktif dan *Life Cycle Cost* (Model Istiqlal)

Strategi ini dicirikan oleh investasi modal awal yang tinggi untuk modernisasi sistem mekanikal (MEP), integrasi teknologi cerdas, dan penggunaan energi terbarukan, yang dibenarkan melalui analisis penghematan operasional jangka Panjang (Kusumastuti et al., 2025). Model ini direkomendasikan untuk tipologi bangunan sebagai berikut:

1. Bangunan Pemerintah dan Fasilitas Publik Skala Besar

Bangunan dengan intensitas penggunaan energi tinggi, seperti rumah sakit, sekolah, dan kantor pemerintahan, merupakan kandidat ideal (Kusumastuti et al., 2025). Skala konsumsi energi yang masif pada bangunan jenis ini memungkinkan pengembalian investasi (ROI) yang rasional melalui penghematan listrik, sebagaimana dibuktikan oleh penurunan EUI sebesar 23,81% pada kasus Istiqlal (Kusumastuti et al., 2025).

2. Aset Komersial Jangka Panjang
 Penerapan analisis *Life Cycle Cost* (LCC) sangat relevan bagi pemilik aset komersial (hotel, pusat perbelanjaan) yang menargetkan efisiensi total biaya kepemilikan (*Total Cost of Ownership*) dalam *horizon* waktu 20 tahun atau lebih. Strategi ini menepis anggapan bahwa bangunan hijau membebani secara finansial (Kusumastuti et al., 2025).
3. Bangunan yang Menargetkan Sertifikasi Kinerja Tinggi
 Proyek yang mengejar sertifikasi hijau formal (seperti EDGE atau *GreenSHIP*) memerlukan intervensi terukur dan berbasis data. Penggunaan teknologi seperti *Building Information Modelling* (BIM) dan sensor pintar menjadi krusial untuk memenuhi standar kepatuhan regulasi yang ketat (Kusumastuti et al., 2025).

Tabel 2. Tabel Penerapan Strategi *Retrofitting*

No	Fitur	Masjid Agung Banten (Heritage)	Masjid Istiqlal (Publik Modern)
1	Strategi Ventilasi & Udara	Ventilasi Silang Alami (Cross Ventilation). Menambahkan kisi-kisi kayu/bambu atau jalousie pada bukaan untuk memaksimalkan aliran udara tanpa mengubah fasad utama.	Upgrade Sistem Mekanikal (MEP). Penggantian dan optimalisasi sistem tata udara dan ventilasi mekanis (bagian dari retrofit MEP senilai Rp 330 Miliar).
2	Strategi Material Atap/Energi	Insulasi Alami & Cat Reflektif. Menggunakan sabut kelapa/ijuk di bawah atap dan cat pemantul panas pada permukaan eksterior untuk menolak radiasi matahari.	Panel Surya (PV) & Smart Lighting. Instalasi panel surya 150 kWp dan sistem pencahayaan cerdas untuk menekan beban listrik.
3	Pendekatan Lansekap	Vegetasi Mikroklimatis. Penanaman pohon peneduh di sekitar bangunan untuk menurunkan suhu lingkungan (ambient temperature) yang panas akibat perkerasan.	Lansekap Skala Besar. Renovasi lansekap besar-besaran (25% dari total CAPEX) untuk fungsi estetika dan hijau, namun dipisahkan dari perhitungan energy-related cost.
4	Teknologi Pendukung	Low-Tech / Traditional Tech. Mengandalkan material lokal (bambu, kelapa) dan teknik tukang tradisional.	High-Tech / Smart Building. Menggunakan Building Information Modelling (BIM 6D) dan sistem manajemen bangunan otomatis.
5	Analisis Biaya (Cost)	Tidak Dibahas Secara Kuantitatif. Fokus lebih pada solusi murah dan sederhana (low-cost) yang cocok untuk pelestarian.	Analisis Kuantitatif Mendalam (NPV & LCC). Investasi Rp 511 Miliar dinilai berdasarkan Net Present Value selama 20 tahun. Terbukti menghemat Rp 718 juta/tahun.
6	Target Output	Penurunan suhu ruang (saat ini 30-32°C) dan kelembaban (70-85%) agar jamaah nyaman.	Penurunan EUI sebesar 23-24% (dari 42 ke 32 kWh/m ² /tahun) dan pencapaian Net Zero.

Penerapan Strategi Pasif Adaptif dan Konservasi (Model Banten)

Strategi ini mengutamakan prinsip reversibilitas, intervensi non-invasif, dan pemanfaatan material lokal untuk meningkatkan kenyamanan termal tanpa merusak autentisitas arsitektur (Setyarandi & Saputro, 2025) Model ini direkomendasikan untuk tipologi bangunan sebagai berikut:

1. Bangunan Cagar Budaya (*Heritage Buildings*):
 Bangunan yang dilindungi undang-undang pelestarian (UU No. 11 Tahun 2010) memerlukan pendekatan yang mematuhi prinsip 3T (*thermal, technical, traditional*). Strategi *add-on* seperti penambahan kisi-kisi ventilasi kayu atau insulasi atap sabut kelapa memungkinkan peningkatan performa termal tanpa mengubah fasad atau struktur asli yang bernilai sejarah.
2. Arsitektur Vernakular di Iklim Tropis Lembab:
 Bangunan tradisional yang mengandalkan "nafas" bangunan sangat cocok mengadopsi strategi peninggian ventilasi silang dan penggunaan cat reflektif. Pendekatan ini mengatasi

masalah kelembaban tinggi (70-85%) dan panas radiasi atap yang umum terjadi di wilayah pesisir.

3. Bangunan Komunitas dengan Anggaran Terbatas (*Low-Budget*):

Fasilitas publik skala kecil atau bangunan swadaya masyarakat yang tidak memiliki kapasitas finansial untuk investasi teknologi tinggi sangat diuntungkan oleh pendekatan ini. Rekayasa mikroklimat melalui vegetasi peneduh dan optimalisasi bukaan alami menawarkan solusi biaya rendah yang efektif menurunkan suhu lingkungan (*ambient temperature*)

Dualisme pendekatan retrofit ini menegaskan bahwa tidak ada solusi tunggal dalam keberlanjutan arsitektur. Bangunan monumen modern dengan dukungan finansial kuat disarankan mengadopsi model efisiensi aktif (*Istiqlal*) untuk dampak ekologis yang terukur secara kuantitatif. Sebaliknya, bangunan bersejarah dan vernakular harus memprioritaskan model adaptasi pasif (*Banten*) untuk menjaga keseimbangan antara kenyamanan pengguna dan pelestarian nilai budaya

SIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa strategi *retrofitting* merupakan pendekatan paling efisien dan berkelanjutan untuk meningkatkan performa energi dan kenyamanan termal bangunan tua di Kota Bandung. Kombinasi strategi pasif dan aktif mampu menurunkan konsumsi energi hingga 60%, meningkatkan kenyamanan pengguna sebesar 35%, serta mendukung pelestarian arsitektur lokal. Dengan integrasi teknologi, kebijakan, dan partisipasi masyarakat, retrofitting dapat menjadi solusi utama menuju kota tropis rendah karbon yang mendukung visi *Net Zero Emission* 2060.

DAFTAR PUSTAKA

- Aliamin, Y. (2021). Pathways toward Sustainable Architecture: Green Architecture and Circular Built Environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 794(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/794/1/012155>
- Cao, X., Dai, X., & Liu, J. (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy & Buildings*, 128, 198–213. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089>
- Deyranlou, B., & Afzali, F. (2023). Carbon Footprint Reduction Through Sustainable Renovation of Buildings. *British Journal of Arts and Humanities*, 7782, 253–265. <https://doi.org/10.34104/bjah.02302530265>
- Ganorkar, A. T. P. (2023). Green Retrofitting – an Energy Saving Alternative To Sustainable Future. *Futuristic Trends in Construction Materials & Civil Engineering Volume 2 Book 11*, 2, 239–246. <https://doi.org/10.58532/v2bs11p4ch1>
- Huo, X., Hao, T., & Jiao, L. (2025). Critical risk factors of public building green retrofit projects- an empirical study in Chongqing, China. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 24(3), 1487–1499. <https://doi.org/10.1080/13467581.2023.2278886>
- Imani, E., Dawood, H., Dawood, N., & Occhipinti, A. (2024). Enhancing Building Sustainability: a Comprehensive Review and Methodological Roadmap for Retrofit Strategies. *Journal of Information Technology in Construction*, 29(April), 1275–1292. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.057>
- Imani, E., & Imani, S. (2021). Brutalism: As a preferred style for institutional buildings in modern architecture period. *E3S Web of Conferences*, 231. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123104001>
- Karimi, H., Adibhesami, M. A., Bazazzadeh, H., & Movafagh, S. (2023). Green Buildings:

- Human-Centered and Energy Efficiency Optimization Strategies. *Energies*, 16(9), 1–17. <https://doi.org/10.3390/en16093681>
- Kusumastuti, D., Setyowati, E., Sari, S. R., & Dwiyanto, A. (2025). *Life Cycle Cost Perspective of Retrofitting the Istiqlal Mosque : Demonstrating Long-Term Savings of Green Public Buildings*. 02056, 1–10.
- Maliatie, R. C. C., Monemnasi, A., & Lapenangga, A. K. (2022). Eksplorasi Konsep Berkelanjutan Pada Arsitektur Uma Fafae Di Kabupaten Malaka, Ntt. *Vitruvian : Jurnal Arsitektur, Bangunan Dan Lingkungan*, 12(1), 55. <https://doi.org/10.22441/vitruvian.2022.v12i1.005>
- Muralidhar, P., Sahoo, S. K., & Kaarthikesh, U. (2025). Retrofitting of Existing Building to Green Building - A Case Study. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 16(1), 44–53. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2025.16.01.005>
- Nur, M., Rizqi, F., Nainggolan, P., & Tanjung, R. (2025). Peran Pelestarian Material Bangunan Bersejarah Kawasan Wisata Budaya Dan Religi. *Zona Sipil: Jurnal Ilmiah*, 15, 1–9.
- Ojong Felix Enow, Ebimor Yinka Gbabo, Andrew Tochukwu Ofoedu, Possible Emeka Chima, & Oluwapelumi Joseph Adebawale. (2025). Sustainable Retrofitting of Existing Buildings: Techniques and Case Studies. *International Journal of Scientific Research in Mechanical and Materials Engineering*, 9(3), 40–56. <https://doi.org/10.32628/ijsrmmme259226>
- Setty, S., & Sriram, Y. (2024). *Incorporating Energy Efficiency and Sustainable Energy Practices in the Renovation and Retrofitting of a 50-Year-Old Independent House*. 333–339. <https://doi.org/10.62576/izte2884>
- Setyarandi, V., & Saputro, A. B. (2025). *Green Retrofitting of Cultural Heritage Building: A Case Study of Banten Grand Mosque*. 2(2), 84–93.
- Sharifi, A. (2021). Urban sustainability assessment: An overview and bibliometric analysis. *Ecological Indicators*, 121(xxxx), 107102. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107102>
- Wan, S., Ding, G., Runeson, G., & Liu, Y. (2022). Sustainable Buildings' Energy-Efficient Retrofitting: A Study of Large Office Buildings in Beijing. *Sustainability (Switzerland)*, 14(2), 1–24. <https://doi.org/10.3390/su14021021>
- Xu, H. (2025). Sustainability Enhancement in Healthcare Facility Design: Structural and Functional Optimization Based on GCN. *Proceedings of 2025 International Conference on Health Big Data, HBD 2025*, 227–233. <https://doi.org/10.1145/3733006.3733043>
- Xue, F., & Zhao, J. (2021). Building Thermal Comfort Research Based on Energy-Saving Concept. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/7132437>