

ANALISIS LIFE CYCLE COST PADA PENERAPAN KONSEP GREEN BUILDING UNTUK MEWUJUDKAN EFISIENSI ANGGARAN PUBLIK : STUDI KASUS PEMBANGUNAN RUMAH DINAS

Mahdika Putra Nanda^{1*}, Mega Kurniawati²

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wiralodra
Jl. Ir. H. Juanda No. 347, Sindang, Indramayu, Jawa Barat

²Prodi Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,
Universitas Palangka Raya

Jl. Yos Sudarso, Panarung, Pahandut, Kota Palangka Raya, Kalimantan Tengah

*Email: dikananda.ft@unwir.ac.id

Abstrak

Pembangunan rumah dinas sebagai aset publik pemerintah selama ini hanya mempertimbangkan biaya konstruksi awal (initial cost) tanpa memperhitungkan biaya jangka panjang. Pendekatan ini berpotensi mengakibatkan inefisiensi anggaran publik karena biaya operasional dan pemeliharaan yang tinggi sepanjang umur bangunan. Penelitian ini bertujuan menganalisis Life Cycle Cost (LCC) pada tiga skenario penerapan konsep green building dalam pembangunan rumah dinas guna mewujudkan efisiensi anggaran publik. Data primer bersumber dari Rencana Anggaran Biaya (RAB) pembangunan rumah dinas dua lantai senilai Rp 2,235 miliar. Analisis LCC dilakukan selama 30 tahun dengan discount rate 6%. Hasil analisis menunjukkan Skenario Green Building Dasar menghemat 11,07% dan Skenario Green Building Optimal menghemat 16,47% dari total LCC dibandingkan skenario konvensional. Payback period dicapai pada tahun ke-18 dan ke-22, yang semakin memendek seiring kenaikan harga energi. Temuan ini menegaskan bahwa investasi green building pada rumah dinas merupakan strategi efisiensi anggaran publik jangka panjang yang terukur dan berbasis bukti.

Kata kunci: : life cycle cost, green building, rumah dinas, efisiensi anggaran publik, rencana anggaran biaya

Abstract

The construction of government housing as a public asset has traditionally focused solely on initial construction costs without accounting for long-term expenses. This approach risks causing public budget inefficiencies due to high operational and maintenance costs throughout the building's lifespan. This study aims to analyze the Life Cycle Cost (LCC) across three scenarios for applying green building concepts in the construction of government housing to achieve public budget efficiency. Primary data is sourced from the Cost Estimate (RAB) for the construction of a two-story government housing unit valued at Rp 2.235 billion. The LCC analysis was conducted over 30 years using a 6% discount rate. The analysis results show that the Basic Green Building Scenario saves 11.07% and the Optimal Green Building Scenario saves 16.47% of the total LCC compared to the conventional scenario. The payback period is reached in the 18th and 22nd years, respectively, and shortens as energy prices rise. These findings confirm that investing in green building for government housing is a measurable, evidence-based, long-term strategy for public budget efficiency.

Keywords: life cycle cost, green building, government housing, public budget efficiency, cost budget plan

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur pemerintah, termasuk rumah dinas, merupakan komponen belanja modal yang bersumber dari APBN maupun APBD. Dalam praktik pengadaan aset publik di Indonesia, perencanaan anggaran konstruksi umumnya hanya berfokus pada biaya pembangunan awal (*initial cost*) yang tertuang dalam Rencana Anggaran Biaya (RAB), tanpa mempertimbangkan total biaya kepemilikan sepanjang umur bangunan. Padahal, jika ditinjau dalam periode 30 tahun, biaya konstruksi awal hanya menyumbang sekitar 2% dari total biaya bangunan, sementara biaya

operasional dan pemeliharaan mendominasi porsi terbesar dari keseluruhan pengeluaran sepanjang umur gedung. Kondisi ini menciptakan *gap* fundamental dalam tata kelola aset publik, di mana bangunan yang tampak hemat di tahap konstruksi justru menghasilkan beban anggaran yang jauh lebih besar dalam jangka panjang akibat biaya operasional dan pemeliharaan yang tidak efisien (X. Li et al., 2023). Konsep *green building* telah terbukti secara internasional mampu mereduksi biaya operasional bangunan secara signifikan. (Miraj et al., 2021) dalam kajian kelayakan ekonomi gedung perkantoran hijau bersertifikat di Indonesia menemukan bahwa bangunan hijau membutuhkan tambahan biaya awal sebesar 9,22%, namun mampu menghasilkan penghematan energi dan air lebih dari 50% sepanjang siklus hidup bangunan, serta mereduksi biaya per luas area hingga 40% dibandingkan bangunan konvensional.

Temuan (Sutikno et al., 2025) ini menegaskan bahwa penilaian biaya yang hanya berbasis *initial cost* merupakan pendekatan yang tidak memadai untuk pengambilan keputusan investasi aset publik jangka panjang. Di kawasan Asia Tenggara yang memiliki kesamaan iklim tropis dengan Indonesia, (S. Li et al., 2020) melakukan analisis *Life Cycle Cost* (LCC) terhadap 44 bangunan non-residensial bersertifikat Green Mark di Singapura, dan menemukan bahwa rata-rata nilai LCC tahunan bangunan hijau sebesar SGD 222,03/m², dengan komponen biaya konstruksi SGD 91,85/m² dan biaya operasional SGD 130,18/m². Lebih lanjut, studi tersebut menemukan bahwa peningkatan level sertifikasi *Green Mark* akan meningkatkan LCC dan biaya konstruksi, namun tidak berpengaruh signifikan terhadap biaya operasional mengindikasikan bahwa investasi pada standar hijau yang lebih tinggi tidak serta-merta membebani biaya jangka panjang. Relevansi konteks iklim tropis ini penting, mengingat proporsi konsumsi energi untuk sistem pendingin udara di Indonesia sangat tinggi sehingga potensi reduksi biaya operasional melalui desain hijau justru lebih besar dibandingkan wilayah beriklim sedang.

Dari kerangka metodologis analisis LCC, (Dwaikat & Ali, 2018) menunjukkan bahwa analisis LCC dapat digunakan untuk mengembangkan *life cycle budget* bagi bangunan hijau sepanjang siklus hidupnya yang dapat mencapai 60 tahun, sekaligus menegaskan peran kritis analisis biaya operasional dan pemeliharaan dalam perencanaan anggaran bangunan berkelanjutan. Adapun analisis LCC merupakan metode evaluasi ekonomi yang membandingkan biaya dan penghematan dari berbagai alternatif desain bangunan sepanjang siklus hidupnya, dengan memperhitungkan total biaya perolehan, operasional, pemeliharaan, dan disposal yang semuanya tidak dapat tercermin hanya dari harga perolehan awal (Jamaludin & Li, 2023). Namun demikian, penerapan *green building* pada proyek hunian dinas pemerintah di Indonesia masih sangat terbatas. Sejak Green Building Council Indonesia (GBCI) berdiri pada tahun 2009 dan mengelola sistem sertifikasi GREENSHIP, hingga tahun 2023 baru 57 bangunan yang telah memperoleh sertifikasi tersebut. Dalam konteks bangunan gedung milik pemerintah, Peraturan Menteri PUPR Nomor 21 Tahun 2021 tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau telah mewajibkan penerapan prinsip bangunan gedung hijau pada bangunan gedung negara, termasuk rumah dinas. Regulasi ini menjadi landasan hukum yang memperkuat urgensi penerapan *green building* pada aset publik, sekaligus menunjukkan bahwa pemerintah telah memiliki kerangka regulasi yang seharusnya mendorong percepatan implementasinya. Hambatan finansial dipersepsikan sebagai tantangan paling berat dalam implementasi *green building* di Indonesia, dan tidak satu pun instrumen fiskal dalam taksonomi CCFLA yang telah diimplementasikan di sektor *green building* maupun energi terbarukan Indonesia.

Kondisi ini diperparah oleh lemahnya basis analisis total biaya kepemilikan. (Prasetyawan et al., 2023) dalam kajian implementasi *green building* di Jakarta menemukan bahwa hambatan dan ketiadaan insentif yang efektif menjadi penyebab rendahnya pencapaian target pengurangan emisi gas rumah kaca melalui bangunan hijau, di mana realisasi efisiensi energi pada gedung komersial hanya mencapai 0,72% dari target yang ditetapkan untuk tahun 2030. Dari sisi konteks Indonesia yang lebih luas, studi terhadap praktisi *green building* di Indonesia mengungkap bahwa terdapat korelasi signifikan antara biaya awal, biaya operasional, dan total LCC, serta mengidentifikasi 10 faktor *green building* yang paling kritis dalam memengaruhi kinerja biaya

Berdasarkan kajian literatur yang telah dipaparkan, terdapat beberapa *gap* penelitian yang menjadi landasan studi ini, diantaranya: (1) perencanaan anggaran konstruksi aset publik di Indonesia, termasuk rumah dinas masih bertumpu pada pendekatan *initial cost* semata tanpa mempertimbangkan total biaya kepemilikan sepanjang umur bangunan, sehingga belum tersedia pemetaan *gap* pemenuhan kriteria *green building* pada komponen RAB eksisting; (2) meskipun studi

LCC pada bangunan hijau telah dilakukan di berbagai negara termasuk kawasan tropis, kajian perbandingan LCC antar skenario pembangunan yang diterapkan secara spesifik pada rumah dinas pemerintah di Indonesia belum tersedia; serta (3) penerapan *green building* pada hunian dinas pemerintah di Indonesia masih sangat terbatas dan belum terdapat analisis kuantitatif yang mengukur tingkat efisiensi anggaran publik melalui skenario investasi hijau, termasuk pengaruh kenaikan harga energi terhadap *payback period*. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan: (1) mengidentifikasi gap pemenuhan kriteria *green building* pada komponen RAB eksisting rumah dinas; (2) menghitung dan membandingkan *Life Cycle Cost* tiga skenario pembangunan selama 30 tahun; serta (3) menganalisis tingkat efisiensi anggaran publik yang dapat dicapai melalui penerapan *green building*, termasuk pengaruh kenaikan harga energi terhadap *payback period* investasi.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif dengan metode studi kasus. Data primer berupa RAB pembangunan rumah dinas dua lantai dianalisis menggunakan kerangka *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) sesuai standar ISO 15686-5:2017 dan panduan NIST Handbook 135 yang menetapkan LCCA sebagai metode evaluasi ekonomi standar untuk bangunan pemerintah.

2.2 Data dan Sumber Data

Data primer berupa dokumen RAB pembangunan rumah dinas dua lantai dengan total anggaran Rp 2.235.033.545, mencakup 15 kelompok pekerjaan dalam dua lantai. Data sekunder berupa asumsi biaya O&M diperoleh dari ASHRAE Standard 90.1 (2019), Whole Building Design Guide (WBDG), sedangkan kriteria *green building* mengacu pada GREENSHIP versi 1.2 yang dikembangkan Green Building Council Indonesia (GBCI).

2.3 Skenario Analisis

Tiga skenario disusun berdasarkan tingkat adopsi prinsip *green building*: (1) Skenario 1 – Konvensional, sesuai RAB eksisting, O&M rate 3,5% per tahun; (2) Skenario 2 – Green Building Dasar, penambahan efisiensi energi dan air, *initial cost* +10%, O&M rate 2,6% per tahun; dan (3) Skenario 3 – *Green Building Optimal*, penambahan panel surya, *rainwater harvesting*, dan material bersertifikat FSC, *initial cost* +21,5%, O&M rate 2,0% per tahun. Asumsi O&M rate mengacu pada WBDG (2021) dan Kubba (2010).

2.4 Metode *Life Cycle Cost Analysis* (LCC)

LCC dihitung menggunakan *Present Worth Analysis*.

$$LCC = IC + PV(O\&M)$$

$$LCC = IC + \left[A \times \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} \right] \tag{1}$$

Dengan

IC= initial cost

A= biaya operasi dan pemeliharaan (*O&M*) tahunan

r= *discount rate* = 6% (mengacu rata-rata SUN 2020–2024)

n= umur analisis = 30 tahun (mengacu SNI 03-1726-2019 dan Permen PUPR No. 22/2018)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Komposisi Biaya RAB dan Identifikasi Komponen Dominan

Langkah awal analisis adalah memetakan struktur biaya RAB eksisting sebagai *baseline* penelitian. Pemahaman mendalam terhadap distribusi biaya per kelompok pekerjaan menjadi kritis karena komponen-komponen dominan inilah yang akan menjadi titik intervensi utama dalam penyusunan skenario *green building*. Tabel 1 menyajikan rekapitulasi lengkap RAB per kelompok pekerjaan,.

Tabel 1. Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya (RAB)

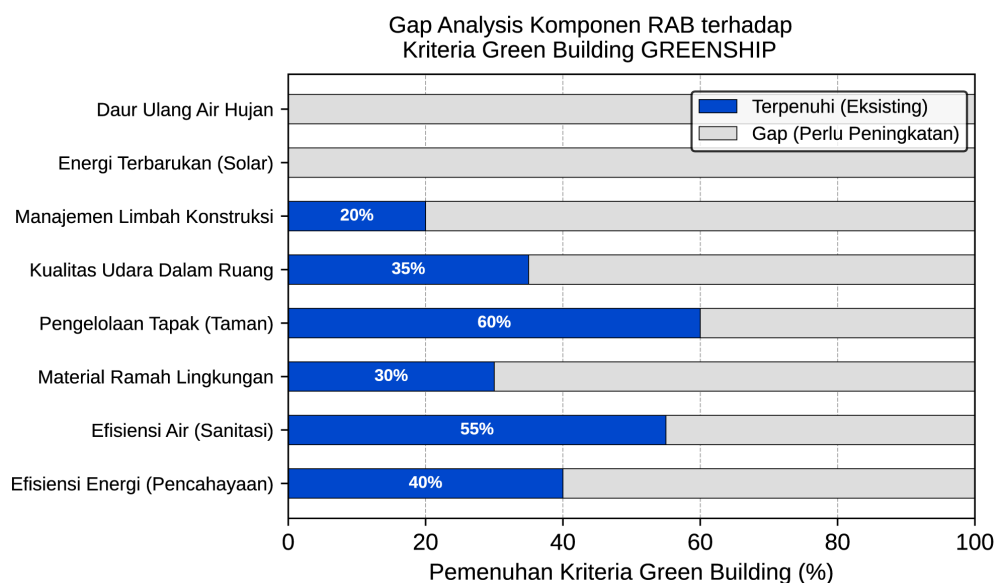
Pembangunan Rumah Dinas 2 Lantai

No	Kelompok Pekerjaan	Biaya (Rp)	% Total
A	Pekerjaan Persiapan	29.790.696	1,33
B	Pekerjaan Lantai I (incl. Pondasi)	1.288.901.252	57,67
I	Pekerjaan Tanah	10.763.016	0,48
II	Pekerjaan Pondasi	36.026.761	1,61
III	Struktur Beton	161.195.483	7,21
IV	Pekerjaan Dinding	61.090.171	2,73
V	Pekerjaan Plesteran	43.304.408	1,94
VI	Pekerjaan Kayu	824.875.390	36,91
VII	Penutup Atap	4.280.249	0,19
VIII	Penutup Lantai & Dinding	38.349.344	1,72
IX	Langit-Langit	45.363.815	2,03
X	Sanitasi	14.337.757	0,64
XI	Kunci & Kaca	4.152.524	0,19
XII	Pengecatan	17.713.491	0,79
XIII	Besi & Aluminium	5.798.845	0,26
XIV	Taman & Kolam	14.000.000	0,63
XV	Pekerjaan Listrik	7.650.000	0,34
C	Pekerjaan Lantai II (incl. Atap)	916.341.597	40,99
	TOTAL	2.235.033.545	100,00

Tabel 1 mengungkap temuan yang sangat signifikan bahwasanya dominasi pekerjaan kayu sebesar 36,91% dari total RAB, khususnya pada komponen gording kayu jati dengan harga satuan Rp 12.295.440/m' pada volume total 120 m', mengindikasikan tingginya ketergantungan desain eksisting terhadap material kayu alam. Ketergantungan ini menjadikan komponen pekerjaan kayu rentan terhadap fluktuasi biaya pemeliharaan jangka panjang, sekaligus berimplikasi pada aspek keberlanjutan apabila sumber kayu yang digunakan tidak dapat ditelusuri asal-usul dan sertifikasinya secara legal. Penggunaan kayu jati dalam volume besar sebagaimana tercermin dalam RAB ini tidak serta-merta memberikan keunggulan lingkungan tanpa jaminan sumber yang berkelanjutan. Data RAB ini menegaskan bahwa intervensi paling strategis untuk mendorong penghematan LCC adalah pada komponen pekerjaan kayu, baik melalui substitusi material menuju alternatif yang lebih berkelanjutan seperti rangka baja ringan, bambu rekayasa, atau kayu bersertifikat maupun melalui optimasi desain struktural yang dapat mereduksi volume material tanpa mengorbankan kinerja bangunan. Temuan ini konsisten dengan hasil kajian sebelumnya yang menunjukkan bahwa optimasi desain rangka kayu berpengaruh signifikan terhadap total LCC bangunan (Dwaikat & Ali, 2018), serta pemilihan material kayu tanpa mempertimbangkan sertifikasi sumbernya dapat mengeliminasi keunggulan keberlanjutan yang diharapkan (Krzywiński & Sadowski, 2018).

3.2 Gap Analysis terhadap Kriteria Green Building GREENSHIP

Setelah memahami komposisi biaya RAB, langkah selanjutnya adalah mengevaluasi sejauh mana spesifikasi dalam RAB eksisting telah memenuhi kriteria *green building*. Evaluasi dilakukan terhadap delapan kategori utama GREENSHIP, mencakup efisiensi energi, efisiensi air, material, pengelolaan tapak, kualitas udara, manajemen limbah, energi terbarukan, dan daur ulang air hujan. Pemetaan ini menjadi dasar ilmiah dalam menentukan intervensi spesifik untuk masing-masing skenario *green building*. Hasil *gap analysis* disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Gap analysis komponen RAB terhadap kriteria green building GREENSHIP v.1.2

Gambar 1 mengungkapkan ketimpangan struktural dalam integrasi kriteria *green building* pada dokumen RAB eksisting, yang menunjukkan bahwa pendekatan perencanaan biaya konstruksi masih didominasi oleh paradigma konvensional dan belum menginternalisasi prinsip keberlanjutan secara komprehensif. Dari delapan kategori yang dievaluasi, hanya pengelolaan tapak (60%) dan efisiensi air (55%) yang mencapai tingkat pemenuhan relatif moderat, sementara kategori lainnya tertinggal pada level parsial hingga minimal, seperti efisiensi energi (40%), kualitas udara dalam ruang (35%), dan material ramah lingkungan (30%). Kondisi yang lebih kritis terlihat pada tidak terakomodasinya sama sekali aspek energi terbarukan dan daur ulang air hujan (0%), yang secara langsung menghasilkan *full gap* (100%). Temuan ini mengindikasikan bahwa dimensi inovatif dalam *green building*, khususnya yang berkaitan dengan integrasi teknologi dan sistem siklus tertutup (*closed-loop systems*) belum menjadi bagian dari kerangka perencanaan anggaran.

Selain itu, tingginya *gap* pada manajemen limbah konstruksi (80%) menunjukkan absennya pendekatan *life-cycle thinking* dalam penyusunan RAB. Kondisi ini relevan dengan konteks Indonesia secara makro, di mana (Willar et al., 2025) dalam prosiding CIB World Building Congress menegaskan bahwa limbah konstruksi di Indonesia dapat mencapai 29 juta ton per tahun, dan sebagian besar kontraktor kecil dan menengah belum mengadopsi manajemen limbah proyek yang ramah lingkungan secara sistematis. Absennya alokasi anggaran untuk manajemen limbah konstruksi dalam RAB yang dianalisis mencerminkan pola umum ini, di mana praktik konstruksi hijau masih bersifat *ad hoc* dan tidak terintegrasi sejak tahap perencanaan.

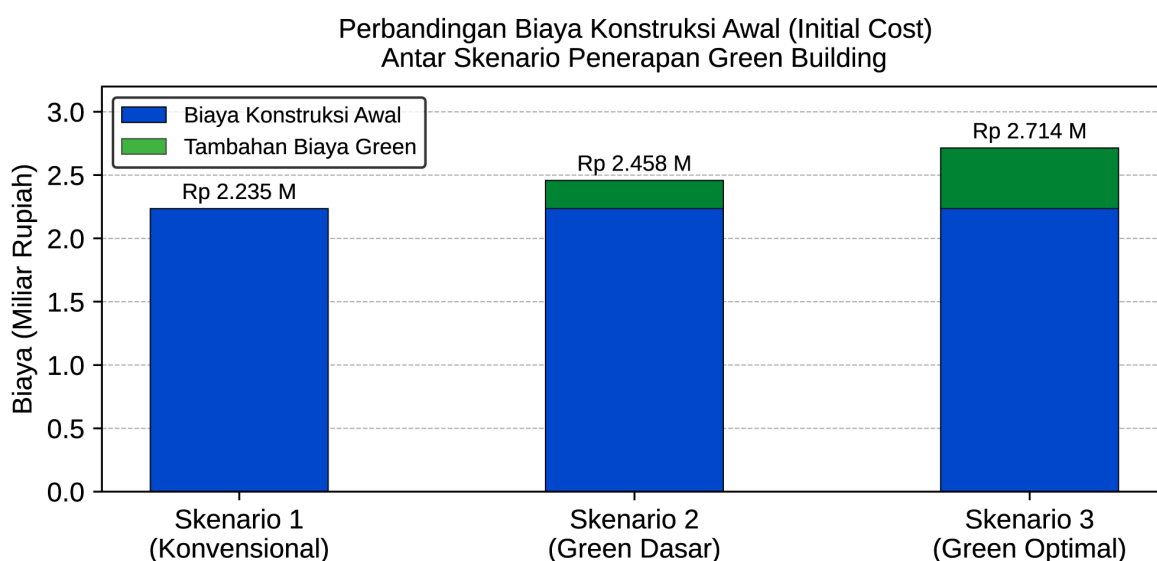
Secara konseptual, temuan ini memperkuat argumen bahwa RAB tidak hanya berfungsi sebagai instrumen finansial, tetapi juga sebagai representasi prioritas pembangunan. Dengan demikian, ketiadaan alokasi pada kategori tertentu mencerminkan *systemic exclusion* terhadap aspek keberlanjutan dalam proses perencanaan. Hal ini konsisten dengan temuan (Prasetyawan et al., 2023) meskipun kerangka regulasi berupa Peraturan Menteri PUPR Nomor 21 Tahun 2021 tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau telah tersedia, hambatan dan ketiadaan insentif yang efektif menyebabkan rendahnya capaian target di mana realisasi efisiensi energi pada gedung komersial hanya mencapai 0,72% dari target yang ditetapkan untuk tahun 2030.

Lebih lanjut, distribusi *gap* yang tidak merata ini mengungkap adanya hierarki implementasi dalam praktik *green building*. (Masloman & Nursin, 2021) dalam kajian penerapan *green construction* pada proyek TOD Mahata Margonda menemukan bahwa variabel dengan pencapaian implementasi tertinggi justru adalah manajemen limbah proyek (rata-rata 3,748), sedangkan variabel dengan pencapaian terendah adalah manajemen tapak (rata-rata 3,198). Ini menunjukkan bahwa pola prioritas implementasi berbeda-beda tergantung konteks proyek, namun secara umum aspek yang bersifat teknis operasional lebih mudah dilaksanakan dibandingkan aspek yang memerlukan

perencanaan sistemik sejak tahap desain. Hal ini diperkuat oleh (Anand et al., 2023) yang menegaskan bahwa hierarki strategi bangunan hemat energi seharusnya mengikuti urutan: pertama desain pasif, kemudian konservasi energi aktif, dan terakhir pembangkitan energi terbarukan di lokasi, urutan yang mencerminkan gradasi dari biaya rendah ke biaya tinggi. Pola ini menegaskan adanya hambatan struktural, baik dari sisi teknis, ekonomi, maupun kelembagaan, dalam mengadopsi strategi keberlanjutan yang lebih maju, khususnya pada bangunan dinas pemerintah yang proses perencanaannya terikat pada mekanisme pengadaan publik yang bersifat normatif dan belum mengintegrasikan indikator lingkungan secara eksplisit.

3.3 Perbandingan Initial Cost Antar Skenario

Sebelum dilakukan analisis LCC, penting untuk memahami terlebih dahulu struktur biaya awal dari ketiga skenario. Hal ini relevan karena perbedaan *initial cost* inilah yang sering menjadi hambatan utama penerimaan konsep *green building* di kalangan pengambil kebijakan publik. Gambar 2 menyajikan perbandingan biaya konstruksi awal ketiga skenario secara visual agar selisih biayanya dapat dipahami secara proporsional.



Gambar 2. Perbandingan biaya konstruksi awal (initial cost) antar skenario penerapan green building

Gambar 2 memperlihatkan bahwa Skenario 2 memerlukan *initial cost* Rp 2,458 miliar, lebih tinggi Rp 223 juta atau 10% dari Skenario 1 (Rp 2,235 miliar). Skenario 3 memerlukan *initial cost* Rp 2,714 miliar, atau lebih tinggi Rp 479 juta (21,5%) dari *baseline* konvensional. Selisih biaya ini mencerminkan investasi nyata dalam sistem yang lebih efisien: pada Skenario 2 berupa upgradasi lampu LED, sensor otomatis, aerator keran, dan kloset *dual flush*; pada Skenario 3 ditambah panel surya 2 kWp, sistem *rainwater harvesting*, dan substitusi parsial kayu jati dengan material komposit bersertifikat FSC. Premium biaya sebesar 10–21,5% ini berada dalam rentang yang dilaporkan oleh penelitian-penelitian terkini. Chegut et al. (2019) dalam studi komprehensif terhadap 550 proyek bangunan hijau di Asia melaporkan premium rata-rata 8–15% untuk *green building* dasar dan 18–25% untuk *green building* dengan target sertifikasi tinggi. Setiawan dan Santoso (2023) dalam konteks Indonesia menemukan premium 7–20% tergantung pada jenis bangunan dan level sertifikasi yang ditargetkan. Data penelitian ini (10% dan 21,5%) konsisten dengan kedua referensi tersebut, mengindikasikan bahwa estimasi biaya skenario yang digunakan cukup realistis dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Namun demikian, angka premium *initial cost* ini tidak boleh dibaca secara isolatif. Keputusan untuk memilih skenario mana yang paling efisien hanya dapat dibuat setelah mempertimbangkan seluruh biaya sepanjang umur bangunan, yang disajikan dalam analisis LCC pada sub-bab berikutnya.

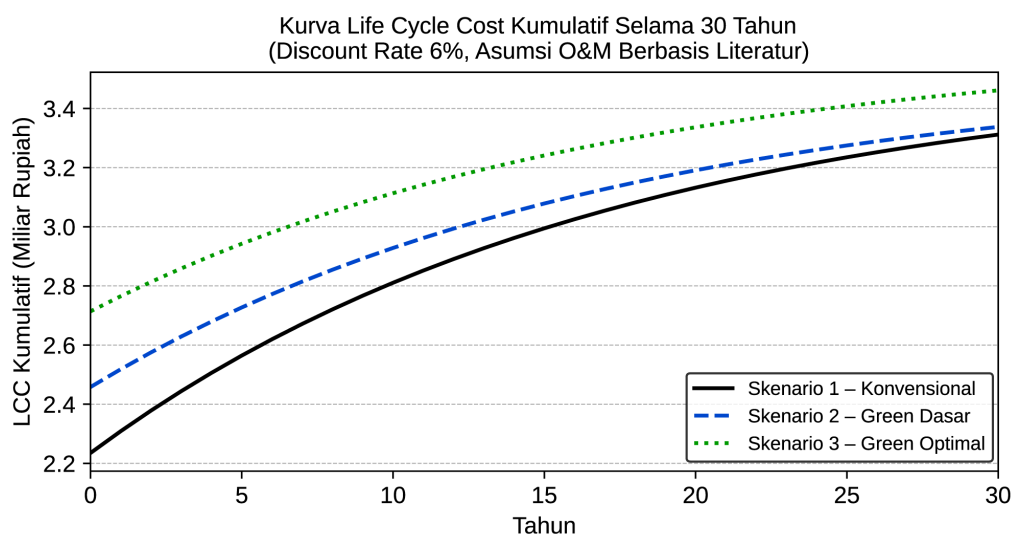
3.4 Analisis Life Cycle Cost 30 Tahun

Inti dari penelitian ini adalah analisis LCC yang mengintegrasikan *initial cost* dan biaya operasional-pemeliharaan (O&M) selama 30 tahun dalam satu kerangka *Present Worth Analysis*. Analisis ini dirancang untuk menjawab pertanyaan mendasar: apakah investasi tambahan *green building* secara ekonomi menguntungkan bagi anggaran publik dalam jangka panjang. Tabel 2 merangkum seluruh komponen LCC ketiga skenario, sedangkan Gambar 4 menyajikan evolusi kumulatif LCC per tahun untuk memvisualisasikan titik *break-even* secara eksplisit.

Tabel 2. Perbandingan Life Cycle Cost (LCC) Antar Skenario

Komponen Biaya	Skenario 1 (Konvensional)	Skenario 2 (Green Dasar)	Skenario 3 (Green Optimal)
Initial Cost (Rp Miliar)	2,235	2,458	2,714
Tambahan Biaya Green (Rp Miliar)	-	0,223	0,479
O&M Rate (% initial/tahun)	3,5%	2,6%	2,0%
PV Biaya O&M 30 thn (Rp Miliar)	3,204	2,379	1,829
Total LCC 30 thn (Rp Miliar)	5,439	4,837	4,543
Penghematan vs Skenario 1 (Rp M)	-	0,602	0,896
Penghematan vs Skenario 1 (%)	-	11,07%	16,47%
Payback period (tahun)	-	18	22

Tabel 2 mengungkap hasil yang sangat relevan secara kebijakan. Meskipun Skenario 1 memiliki *initial cost* terendah (Rp 2,235 miliar), O&M rate-nya yang tinggi (3,5% per tahun) menghasilkan *Present Value* biaya O&M kumulatif selama 30 tahun sebesar Rp 3,204 miliar, sehingga total LCC mencapai Rp 5,439 miliar. Sebaliknya, Skenario 2 dengan O&M rate 2,6% per tahun menghasilkan PV O&M hanya Rp 2,379 miliar, sehingga meskipun *initial cost* lebih tinggi, total LCC-nya hanya Rp 4,837 miliar, atau lebih hemat Rp 602 juta (11,07%). Skenario 3 menghasilkan penghematan terbesar: Rp 896 juta atau 16,47% dari Skenario 1, dengan total LCC Rp 4,543 miliar. Untuk memvisualisasikan dinamika LCC dari tahun ke tahun dan mengidentifikasi titik *break-even* secara akurat, Gambar 4 menyajikan kurva LCC kumulatif ketiga skenario.



Gambar 3. Kurva life cycle cost kumulatif selama 30 tahun (discount rate 6%)

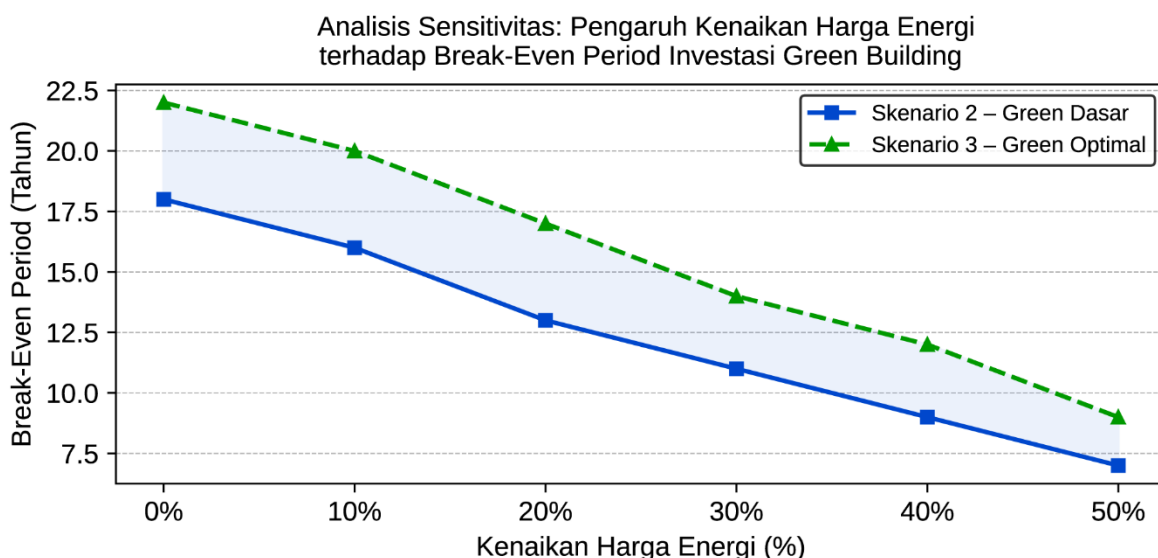
Gambar 3 memperlihatkan dengan jelas dinamika LCC kumulatif ketiga skenario. Pada tahun-tahun awal, kurva Skenario 2 dan Skenario 3 berada di atas Skenario 1 karena beban *initial cost* yang lebih besar. Namun seiring berjalannya waktu, gradien kenaikan LCC Skenario 1 yang lebih curam, akibat O&M rate yang lebih tinggi, menyebabkan kurva-kurva ini bersilangan. Kurva Skenario 2 bersilangan dengan Skenario 1 pada tahun ke-18, sementara kurva Skenario 3 bersilangan pada tahun

ke-22. Setelah titik persilangan tersebut, LCC kumulatif *green building* terus lebih rendah dan selisihnya semakin melebar hingga akhir periode analisis.

Hasil ini memiliki implikasi langsung terhadap kebijakan pengadaan aset publik. Mengingat umur teknis rumah dinas yang ditetapkan 30 tahun (Permen PUPR No. 22/2018), kedua skenario *green building* telah melewati titik *break-even* dalam periode masa pakainya, yang berarti investasi tambahan *green building* terbukti menghasilkan penghematan bersih bagi anggaran negara sebelum bangunan mencapai akhir umur teknisnya. Hasil penelitian ini konsisten dengan (Weerasinghe et al., 2021) dalam studi komparatif LCC dua gedung industri bersertifikat hijau dan satu gedung konvensional di Sri Lanka menemukan bahwa meskipun biaya konstruksi awal gedung hijau 29% lebih tinggi, penghematan biaya operasional dan pemeliharaan masing-masing sebesar 23% dan 15% sepanjang siklus hidup bangunan menghasilkan total LCC gedung hijau yang 17% lebih rendah dari gedung konvensional pola yang sangat konsisten dengan temuan penelitian ini, di mana premium *initial cost* pada skenario *green building* sepenuhnya terkompensasi oleh penghematan O&M jangka panjang. (Miraj et al., 2021) dalam kajian kelayakan ekonomi gedung perkantoran hijau di Indonesia menemukan bahwa investasi tambahan 9,22% pada *green building* menghasilkan penghematan energi dan air sebesar 58,65% serta mereduksi biaya per meter persegi hingga 41,74% dibandingkan bangunan konvensional sebuah temuan kontekstual yang relevan langsung dengan situasi pembangunan rumah dinas di Indonesia. Selanjutnya (Utomo et al., 2022) dalam penelitian terhadap bangunan tinggi di Indonesia menegaskan bahwa penerapan konsep *green building* terbukti mempengaruhi keputusan finansial secara positif melalui penurunan nilai LCC, dan bahwa mayoritas pemangku kepentingan yang semula menolak *green building* karena persepsi biaya tinggi berubah sikap setelah memahami kalkulasi LCC secara komprehensif.

3.5 Analisis Sensitivitas: Pengaruh Kenaikan Harga Energi terhadap Payback period

Salah satu variabel paling tidak pasti dalam proyeksi LCC jangka panjang adalah harga energi. Mengingat kebijakan subsidi energi yang dinamis dan komitmen pemerintah Indonesia menuju energi berimbang pada 2025–2030, harga energi memiliki potensi fluktuasi yang signifikan. Analisis sensitivitas berikut ini dirancang untuk menguji seberapa *robust* temuan utama penelitian terhadap variasi harga energi, sekaligus memberikan gambaran tentang bagaimana perubahan kebijakan energi dapat mempercepat atau memperlambat manfaat ekonomi investasi *green building*. Gambar 5 menyajikan hasil analisis sensitivitas tersebut.



Gambar 4. Contoh penyajian gambar

Gambar 4 mengungkap korelasi negatif yang kuat dan konsisten antara kenaikan harga energi dengan *payback period*: semakin tinggi kenaikan harga energi, semakin cepat investasi *green building* mencapai titik balik ekonomis. Pada kondisi *baseline* tanpa kenaikan harga energi, *payback period* Skenario 2 adalah 18 tahun dan Skenario 3 adalah 22 tahun. Ketika harga energi naik 20%,

payback period Skenario 2 memendek drastis menjadi 13 tahun, sedangkan Skenario 3 menjadi 17 tahun. Pada skenario kenaikan harga energi 50%, *payback period* Skenario 2 hanya 7 tahun dan Skenario 3 hanya 9 tahun, jauh lebih cepat dari umur teknis bangunan. Hasil ini memiliki implikasi kebijakan yang sangat penting karena memberikan argumen tambahan yang kuat bagi pengambil keputusan anggaran. Dari perspektif manajemen risiko fiskal, investasi *green building* bukan sekadar pilihan lingkungan, melainkan juga merupakan instrumen *hedging* terhadap risiko kenaikan harga energi di masa mendatang.

Temuan ini dikuatkan oleh (Zekavot et al., 2023) bahwa *payback period* investasi efisiensi energi sangat sensitif terhadap kondisi lokasi dan harga energi, di mana perubahan parameter harga energi secara signifikan mengubah kelayakan ekonomi investasi efisiensi sebuah mekanisme yang identik dengan yang ditunjukkan pada Gambar 4 dalam penelitian ini. Lebih jauh, (Imran Khan et al., 2024) secara eksplisit menyimpulkan bahwa kenaikan harga energi listrik dari level rendah ke level moderat memperpendek *payback period* retrofit bangunan dari lebih dari 100 tahun menjadi sekitar 13 tahun, sebuah bukti empiris yang sangat kuat bahwa volatilitas harga energi adalah faktor penentu utama kelayakan investasi efisiensi bangunan jangka panjang. Konteks Indonesia semakin memperkuat argumen ini. Kementerian ESDM dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) memproyeksikan kenaikan harga energi rata-rata 5–8% per tahun hingga 2030 seiring pengurangan subsidi secara bertahap. Jika proyeksi ini terwujud, *payback period* investasi *green building* pada rumah dinas pemerintah akan jauh lebih pendek dari yang diestimasi pada kondisi harga energi statis, sehingga membuat argumen efisiensi anggaran publik menjadi semakin kuat.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini secara empiris membuktikan bahwa penerapan konsep *green building* pada pembangunan rumah dinas pemerintah menghasilkan efisiensi anggaran publik yang signifikan dan terukur dalam jangka panjang, meskipun mensyaratkan premium *initial cost* di awal. Tiga kesimpulan utama dapat ditarik dari serangkaian analisis yang dilakukan.

- a. Pertama, RAB eksisting pembangunan rumah dinas dua lantai senilai Rp 2,235 miliar menunjukkan gap signifikan terhadap kriteria *green building* GREENSHIP v.1.2, terutama pada kategori energi terbarukan dan daur ulang air hujan (gap 100%), manajemen limbah konstruksi (gap 80%), serta material ramah lingkungan (gap 70%). Dominasi pekerjaan kayu jati tanpa sertifikasi FSC yang menyerap 36,91% dari total RAB merupakan komponen paling kritis yang memerlukan evaluasi mendalam dari aspek keberlanjutan dan implikasi biaya jangka panjang.
- b. Kedua, analisis LCC 30 tahun dengan *discount rate* 6% secara konsisten membuktikan keunggulan ekonomi skenario *green building* atas skenario konvensional. Skenario Green Building Dasar (initial cost Rp 2,458 miliar, +10%) menghasilkan total LCC Rp 4,837 miliar, hemat 11,07% atau Rp 602 juta dari skenario konvensional (Rp 5,439 miliar), dengan *payback period* tahun ke-18. Skenario Green Building Optimal (initial cost Rp 2,714 miliar, +21,5%) menghasilkan penghematan lebih besar: 16,47% atau Rp 896 juta, dengan *payback period* tahun ke-22. Kedua titik *break-even* ini berada dalam periode umur teknis bangunan 30 tahun, membuktikan bahwa investasi *green building* menghasilkan penghematan bersih nyata bagi anggaran negara.
- c. Ketiga, analisis sensitivitas memperlihatkan bahwa kenaikan harga energi mempercepat *payback period* secara dramatis. Kenaikan harga energi 50% mempersingkat *payback period* Skenario 2 dari 18 menjadi hanya 7 tahun, menjadikan investasi *green building* sebagai instrumen *hedging* fiskal yang semakin bernilai seiring eskalasi harga energi ke depan.

Berdasarkan temuan ini, penelitian merekomendasikan agar perencanaan pembangunan rumah dinas pemerintah secara resmi mengintegrasikan analisis LCC dan standar *green building* GREENSHIP sebagai persyaratan dalam dokumen perencanaan. Kementerian PUPR dan Kementerian Keuangan perlu berkolaborasi mengembangkan regulasi yang mengakomodasi pertimbangan LCC dalam penetapan pagu anggaran konstruksi publik, sejalan dengan amanat Permen PUPR No. 21/2021 tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau.

DAFTAR PUSTAKA

- Anand, V., Kadiri, V. L., & Putcha, C. (2023). Passive buildings: a state-of-the-art review. *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*, 4(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s43065-022-00068-z>
- Andersen, C. E., Rasmussen, F. N., Habert, G., & Birgisdóttir, H. (2021). Embodied GHG Emissions of Wooden Buildings—Challenges of Biogenic Carbon Accounting in Current LCA Methods. *Frontiers in Built Environment*, 7. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.729096>
- ASHRAE. (n.d.). *Complying with Standard 90.1-2019*. ASHRAE Professional Development
- Dwaikat, L. N., & Ali, K. N. (2018). Green buildings life cycle cost analysis and life cycle budget development: Practical applications. *Journal of Building Engineering*, 18, 303–311. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.03.015>
- Imran Khan, M., Bicer, Y., Asif, M., Al-Ansari, T. A., Khan, M., Kurniawan, T. A., & Al-Ghamdi, S. G. (2024). The GCC's path to a sustainable future: Navigating the barriers to the adoption of energy efficiency measures in the built environment. *Energy Conversion and Management: X*, 23, 100636. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100636>
- Jamaludin, F. A. B., & Li, J. (2023). Research on low-carbon evaluation of green buildings based on the whole life cycle theory. *SN Applied Sciences*, 5(10), 262. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05488-4>
- Krzywiński, K., & Sadowski, Ł. (2018). Life Cycle Cost Assessment and the Optimum Design of Timber Roofs for Sustainable Construction. *Cham: Springer International Publishing*, 183–201. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02257-0_15
- Li, S., Lu, Y., Kua, H. W., & Chang, R. (2020). The economics of green buildings: A life cycle cost analysis of non-residential buildings in tropic climates. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119771. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119771>
- Li, X., Lin, M., Xie, W., Jim, C. Y., Lai, J., & Cheng, L. (2023). Holistic Life-cycle Cost-benefit Analysis of Green Buildings: A China Case Study. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 27(11), 4602–4621. <https://doi.org/10.1007/s12205-023-0431-3>
- Masloman, M. U., & Nursin, A. (2021). Penerapan Green Construction Pada Proyek Pembangunan Tod Mahata Margonda. *Construction and Material Journal*, 3(1), 41–49. <https://doi.org/10.32722/cmj.v3i1.3735>
- Miraj, P., Berawi, M. A., & Utami, S. R. (2021). Economic feasibility of green office building: combining life cycle cost analysis and cost–benefit evaluation. *Building Research & Information*, 49(6), 624–638. <https://doi.org/10.1080/09613218.2021.1896354>
- National Institute of Building Sciences. (n.d.). *Whole building design and the WBDG*. Whole Building Design Guide.
- Prasetyawan, S., Machfudiyanto, R. A., & Rachmawati, T. S. N. (2023). Incentives and Barriers to Green Building Implementation: The Case of Jakarta. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 287–302. <https://doi.org/10.22146/jcef.7150>
- Sutikno, S., Hardjomuljadi², S., & Wiyanto³, H. (2025). Cost Model Development For Green Building Compliance With Indonesia's Regulation No.21 Of 2021. *TPM–Testing, Psychometrics, Methodology in Applied Psychology*, 32(S6), 1442–1452. <https://www.tpmmap.org/>
- Utomo, C., Astarini, S. D., Rahmawati, F., Setijanti, P., & Nurcahyo, C. B. (2022). The Influence of Green Building Application on High-Rise Building Life Cycle Cost and Valuation in Indonesia. *Buildings*, 12(12), 2180. <https://doi.org/10.3390/buildings12122180>
- Weerasinghe, A. S., Ramachandra, T., & Rotimi, J. O. B. (2021). Comparative life-cycle cost (LCC) study of green and traditional industrial buildings in Sri Lanka. *Energy and Buildings*, 234, 110732. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110732>
- Willar, D., Trigunaryah, B., Supit, S., & Senduk, N. (2025). Implementing green construction to increase competitiveness: a case of the Indonesian local construction industry. *CIB Conferences*, 1(1). <https://doi.org/10.7771/3067-4883.2067>
- Zekavot, M., Tahbaz, M., & Hafezi, M. R. (2023). A study on the payback period of building energy consumption optimization in different situations. *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications*, 14(4), 171–191.