

Faktor-Faktor Dominan dalam Life Cycle Cost (LCC) Sistem Heat Ventilation Air Conditioning (HVAC) pada Sektor Perhotelan: Studi Literatur

Frits Lalonsang¹

Rekayasa Perawatan dan Restorasi Bangunan Gedung, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado¹
E-mail: miclelalonsang@gmail.com

Abstrak

Life Cycle Cost (LCC) merupakan pendekatan komprehensif yang digunakan untuk mengevaluasi seluruh biaya yang terkait dengan suatu sistem sepanjang masa pakainya, mulai dari tahap perencanaan, pemasangan, operasional, pemeliharaan, hingga penghapusan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor signifikan yang memengaruhi biaya siklus hidup (Life Cycle Cost/LCC) sistem HVAC pada sektor perhotelan melalui studi literatur. Metode sintesis literatur dilakukan dengan menganalisis data dari jurnal ilmiah, laporan teknis, dan studi kasus terkait pengelolaan sistem HVAC di industri perhotelan. Berdasarkan analisis frekuensi kemunculan dan dampaknya, ditemukan bahwa efisiensi energi, biaya operasional, pemeliharaan rutin, serta desain awal merupakan faktor dominan yang memengaruhi LCC. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi oleh pelaku industri perhotelan dalam merancang strategi pengelolaan sistem HVAC yang lebih efisien secara ekonomi.

Kata kunci — *Life Cycle Cost, HVAC, Hotel, Kajian Literatur, Sintesis Data.*

1. PENDAHULUAN

Sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) merupakan elemen penting dalam menjaga kenyamanan lingkungan dalam ruangan. Sistem ini tidak hanya berfungsi untuk mengontrol suhu udara tetapi juga memastikan kualitas udara yang baik, ventilasi yang memadai, dan kelembapan yang optimal. Di sektor perhotelan, sistem HVAC memiliki peran krusial karena kenyamanan tamu menjadi prioritas utama ASHRAE (American Society of Heating, 2021). Selain itu, sistem HVAC juga memengaruhi efisiensi energi dan biaya operasional hotel (Chau et al., 2015).

Konsep *Life Cycle Cost* (LCC) menjadi sangat relevan dalam pengelolaan sistem HVAC karena LCC adalah metode yang digunakan untuk menghitung total biaya terkait dengan kepemilikan dan pengoperasian aset selama masa pakainya, mencakup biaya investasi awal, instalasi, operasional (seperti konsumsi energi), pemeliharaan, perbaikan, serta pembuangan atau penggantian aset pada akhir masa pakai (ASTM-E917-17, t.t.). Analisis LCC membantu pengambil keputusan memilih solusi paling hemat biaya dalam jangka panjang dengan membandingkan alternatif desain atau sistem berdasarkan biaya siklus hidupnya, sehingga memastikan bahwa semua biaya relevan, baik saat ini maupun di masa depan, dipertimbangkan secara menyeluruh (ISO (International Organization for Standardization) 15686-5:2017, 2017). Menurut *Cost Management Accounting and Control* (Hansen & Mowen, 2016) pendekatan LCC sangat relevan dalam industri bangunan untuk memastikan keberlanjutan ekonomi dan lingkungan, sementara (ASTM-E917-17, t.t.) menekankan pentingnya mempertimbangkan

ketidakpastian, efek yang sulit diukur, dan kendala pendanaan dalam analisis akhir untuk memberikan gambaran komprehensif dan realistis (ASTM-E917-17, t.t.).

Dalam industri perhotelan, urgensi sistem HVAC semakin meningkat karena fungsinya yang tidak hanya terbatas pada kenyamanan tamu, tetapi juga pada efisiensi operasional hotel. Hotel sebagai fasilitas komersial dengan penggunaan intensif membutuhkan sistem HVAC yang dapat beroperasi secara optimal tanpa mengorbankan kenyamanan penghuni. Misalnya, area publik seperti lobi, restoran, dan ruang tamu di hotel umumnya memiliki pola penggunaan yang berubah-ubah, sehingga menuntut sistem HVAC yang mampu beradaptasi secara fleksibel tanpa mengurangi efisiensi penggunaan energi (Torres dkk., 2020). Selain itu, sistem HVAC juga memainkan peran penting dalam menjaga reputasi hotel, karena ketidaknyamanan akibat sistem HVAC yang buruk dapat berdampak langsung pada kepuasan tamu dan ulasan online (Longart, 2020). Oleh karena itu, pengelolaan sistem HVAC di hotel harus mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, dan kenyamanan pengguna secara holistik.

Beberapa penelitian terdahulu telah meneliti tentang LCC pada sistem HVAC, seperti dalam studi oleh (2016)(Reina, Kocsis, Merlo, Németh, & Aggogeri, 2016) yang membahas optimasi biaya pemeliharaan, dan (Zhang, Kin, Hui, Duffield, & Mohammed, 2020) yang menyoroti strategi pengelolaan fasilitas untuk mengurangi penyebaran penyakit melalui sistem HVAC. Namun, fokus penelitian pada sektor perhotelan masih relatif sedikit. Penelitian-penelitian sebelumnya difokuskan pada gedung perkantoran atau residensial, sehingga ada kesenjangan pengetahuan terkait pengelolaan LCC sistem HVAC di hotel (West, Siddhpura, Evangelista, & Haddad, 2024). Dalam hal penghematan energi, Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2012 menekankan penggunaan AC hemat energi dengan teknologi inverter serta pengaturan suhu ruangan sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI), seperti suhu berkisar antara 24°C hingga 27°C dengan kelembaban relatif 55%–65% (Kementerian ESDM, 2012). Ketidaknyamanan akibat sistem HVAC yang buruk berdampak langsung pada ulasan online kepuasan tamu (Longart, 2020).

Pendekatan menyeluruh dalam pengelolaan sistem HVAC di hotel harus mencakup pertimbangan teknis, efisiensi biaya, serta kenyamanan pengguna (Longart, 2020). Selaras dengan prinsip penghematan energi dalam Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2012, yaitu efisiensi energi tanpa mengorbankan keselamatan, kenyamanan, dan produktivitas (Kementerian ESDM, 2012).

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi faktor-faktor dominan yang memengaruhi LCC sistem HVAC pada sektor perhotelan melalui kajian literatur. Temuan ini diharapkan dapat memberikan wawasan praktis kepada pelaku industri perhotelan untuk mengoptimalkan pengelolaan sistem HVAC guna meningkatkan efisiensi biaya. Pendekatan ini didukung oleh panduan teknis (ISO (International Organization for Standardization) 15686-5:2017, 2017) dan analisis komprehensif dalam (ASHRAE (American Society of Heating, 2021).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kajian literatur naratif untuk mengidentifikasi faktor-faktor dominan yang memengaruhi LCC sistem HVAC. Data diperoleh dari jurnal ilmiah, buku referensi, laporan teknis, dan studi kasus terkait pengelolaan sistem HVAC di industri perhotelan yang ada di Eropa, Asia dan Amerika Selatan. Temuan dari berbagai literatur disintesis untuk mengidentifikasi pola atau hubungan antarvariabel. Evaluasi tingkat signifikansi masing-masing faktor dilakukan berdasarkan frekuensi kemunculan dan dampaknya (Hansen & Mowen, 2016).

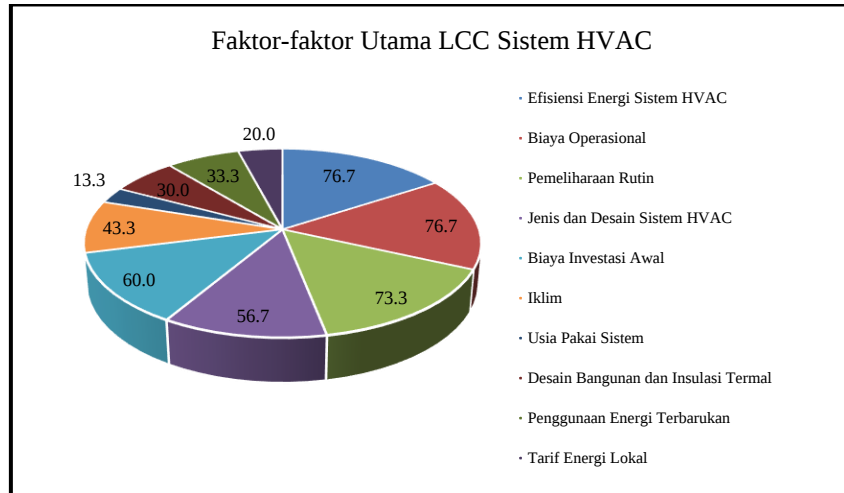
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memahami faktor-faktor utama yang memengaruhi LCC sistem HVAC, dilakukan kajian literatur:

Tabel 1. Faktor-Faktor Utama yang Mempengaruhi LCC Sistem HVAC

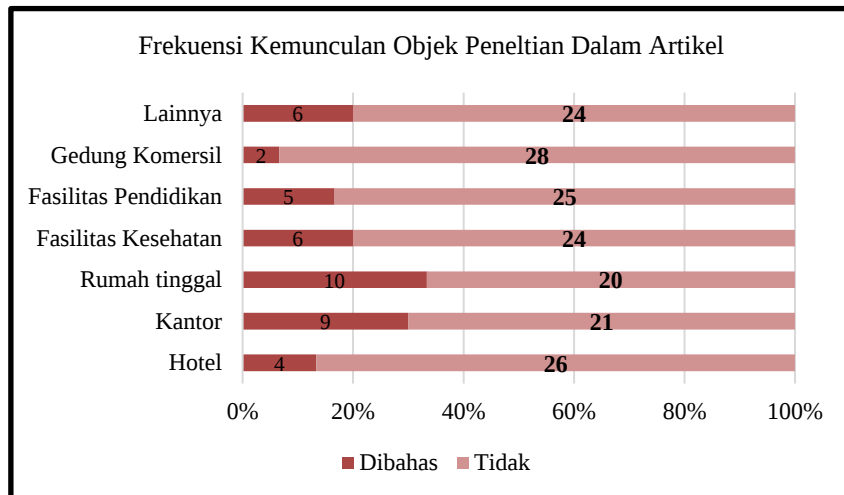
No	Nama Penulis dan Tahun Penelitian	Bangunan Objek							Faktor Yang Mempengaruhi LCC Sitem HVAC									
		Hotel	Kantor	Rumah tinggal	Fasilitas Kesehatan	Fasilitas Pendidikan	Gedung Komersil	Lainnya	Efisiensi Energi Sistem HVAC	Biaya Operasional	Pemeliharaan Rutin	Jenis dan Desain Sistem HVAC	Biaya Investasi Awal	Iklim	Usia Pakai Sistem	Desain Bangunan dan Insulasi Termal	Penggunaan Energi Terbarukan	Tarif Energi Lokal
1	(Leigh & Won, 2004)	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x
2	(Zhang dkk., 2020)	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	x	x	x
3	(JRC Science and Policy Report, 2014)	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓
4	(Marszal & Heiselberg, 2011)	x	x	✓	x	x	x	x	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓
5	(Arroyo, Tommelein, Ballard, & Rumsey, 2016)	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓
6	(Gobinath, Crawford, Traverso, & Rismanchi, 2024)	x	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x
7	(Gibbons & Javed, 2023)	x	x	✓	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	✓
8	(Navon, Arkin, & Burg, 1997)	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	✓	x	✓	x	✓	✓
9	(Torres dkk., 2020)	✓	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	✓	✓	x
10	(Alassafi, Al-Gahtani, Almohsen, & Alsugair, 2024)	x	x	x	✓	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	✓	x	x	x	x
11	(Legorburu & Smith, 2020)	x	x	✓	x	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x
12	(Kumar, Ali, Hakeem, Junejo, & Harijan, 2019)	x	x	x	✓	x	x	x	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x
13	(Na, Nam, & Yang, 2010)	x	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x
14	(Hampo, Mokhtar, Muhammed, Rasangika, & Shanshan, 2022)	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	x
15	(Ates, 2015)	x	x	✓	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓
16	(Plebankiewicz, Zima, & Wiczorek, 2016)	x	x	✓	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	x	✓
17	(De Carlo & Arleo, 2013)	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x
18	(Ferdyn-Grygierek & Grygierek, 2017)	x	x	✓	x	x	x	x	✓	✓	x	x	x	✓	x	✓	x	x
19	(Murphy, Allen, Henze, & Long, 2024)	x	x	✓	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x
20	(Asim dkk., 2022)	x	✓	x	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
21	(Utomo, Astarini, Rahmawati, Setijanti, & Nurcahyo, 2022)	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x
22	(Orynycz & Tucki, 2021)	✓	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	✓	✓	x	x
23	(Longart, 2020)	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	x	x
24	(Stutman, 2010)	x	✓	x	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	✓	x	x	x
25	(Han, Srebric, & Enache-Pommer, 2014)	x	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x
26	(Wang, Dong, & Li, 2022)	✓	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	✓	✓	x	✓
27	(Usman, Jonas, & Frey, 2022)	x	✓	✓	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
28	(Al-Ghamdi & Al-Gahtani, 2022)	x	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x
29	(Shen, Hongyu Zhou, & Som Shrestha, 2020)	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓
30	(Almutairi, Thoma, Burek, Algami, & Nutter, 2015)	x	x	✓	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x
Jumlah Frekuensi		✓	4	9	10	6	5	2	6	23	23	22	17	18	13	4	9	10
Kemunculan		x	26	21	20	24	25	28	24	7	7	8	13	12	17	26	21	24

Gambar 1 menampilkan visualisasi persentase kemunculan faktor-faktor berpengaruh pada LCC sistem HVAC dan merupakan yang paling sering muncul dalam bahasan artikel yang menjadi sumber revidu. Dari 30 artikel sebagai sumber kajian terlihat bahwa faktor efisiensi energi sistem HVAC dan biaya operasional merupakan faktor dengan frekuensi kemunculan terbanyak dalam artikel, sementara untuk usia pakai sistem merupakan faktor dengan pembahasan paling sedikit dalam artikel-artikel yang dikaji. Angka-angka yang ditampilkan merupakan persentase kemunculan faktor-faktor tersebut dalam semua artikel yang menjadi bahan kajian.



Gambar 1. Frekuensi Kemunculan Faktor Utama dalam Kajian Literatur

Gambar 2 menampilkan visualisasi jumlah kemunculan objek kajian hotel dalam bahasan artikel yang menjadi sumber revidu. Mengacu dari 30 jurnal yang dikaji maka tergambar pada grafik ini bahwa rumah tinggal merupakan objek kajian terbanyak sedangkan pembahasan mengenai hotel hanya muncul 4 kali atau kurang dari 14%.



Gambar 2. Frekuensi Kemunculan Objek Hotel dalam Kajian Literatur

Efisiensi Energi Sistem HVAC dan Biaya Operasional merupakan dua faktor yang paling sering dibahas, masing-masing muncul dalam 76,7% dari studi yang dianalisis. Hal ini menunjukkan bahwa aspek konsumsi energi dan pengeluaran operasional menjadi fokus utama dalam analisis Life Cycle Cost (LCC), karena dampaknya yang signifikan terhadap biaya seumur hidup sistem. Pemeliharaan Rutin juga mendapat perhatian cukup besar dengan frekuensi kemunculan sebesar 73,3%, menegaskan pentingnya perencanaan pemeliharaan untuk menghindari biaya tak terduga

serta memastikan keandalan sistem sepanjang masa pakainya. Meskipun hanya muncul dalam 60% studi, Biaya Investasi Awal tetap menjadi pertimbangan krusial pada tahap awal seleksi sistem HVAC, terutama dalam proses pengambilan keputusan terkait anggaran awal. Faktor seperti Iklim yang muncul dalam 43,3% studi dan Desain Bangunan & Insulasi Termal yang muncul dalam 30% studi menunjukkan hubungan erat antara kondisi lingkungan dan efisiensi sistem HVAC, sehingga perlu dipertimbangkan secara holistik dalam perencanaan bangunan. Sebaliknya, Usia Pakai Sistem hanya muncul dalam 13,3% studi, menandakan bahwa faktor ini cenderung diabaikan atau diasumsikan tanpa analisis rinci dalam banyak penelitian LCC.

Selain sepuluh faktor utama tersebut, terdapat beberapa faktor pendukung yang memiliki frekuensi kemunculan lebih rendah namun berpotensi menjadi kunci dalam optimasi LCC di masa depan. Contohnya adalah Pola Hunian, yang sangat memengaruhi beban pendinginan dan pemanasan; Strategi Pemeliharaan seperti preventive maintenance atau predictive maintenance yang dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi risiko kegagalan sistem; serta Integrasi Teknologi Baru seperti smart control dan IoT yang meskipun memerlukan investasi tambahan, dapat meningkatkan akurasi prediksi biaya dan efisiensi operasional jika dimasukkan dalam skenario LCC. Di sisi lain, terdapat pula faktor non prioritas yang muncul sangat jarang dan umumnya bersifat teknis spesifik, seperti Kebisingan Sistem, Estetika Unit Eksternal, dan Ketersediaan Spare Part Lokal. Faktor-faktor ini lebih relevan dalam tahap implementasi dan desain teknis, khususnya untuk proyek dengan kebutuhan khusus seperti bangunan sensitif terhadap suara atau lokasi sulit dijangkau. Meskipun bukan fokus utama dalam LCC, elemen-elemen tersebut tetap harus dievaluasi sesuai dengan konteks proyek tertentu.

Dalam kajian ini juga memperhatikan jumlah kemunculan objek “Hotel” dalam artikel-artikel yang direviu, berdasarkan hasil kajian terhadap data frekuensi kemunculan objek penelitian, hotel hanya muncul dalam 4 dari 30 artikel (13,3%), menempatkannya sebagai salah satu jenis bangunan dengan perhatian paling rendah dibandingkan rumah tinggal, kantor, atau fasilitas kesehatan. Meskipun demikian, potensi konsumsi energi dan kompleksitas operasional sistem HVAC di sektor perhotelan menjadikan bangunan ini sebagai subjek yang penting untuk dikaji lebih lanjut dalam konteks efisiensi energi dan Life Cycle Cost (LCC). Hal ini menunjukkan perlunya pengembangan studi yang lebih komprehensif mengenai aplikasi faktor-faktor utama dalam LCC pada bangunan hotel, mengingat karakteristik penggunaannya yang dinamis dan intensif dalam penggunaan energi. Dengan demikian, pemahaman terhadap faktor-faktor utama dalam LCC sistem HVAC semakin relevan untuk diterapkan dalam konteks bangunan komersial seperti hotel guna mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam perencanaan dan pengelolaan bangunan berkelanjutan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur, faktor dominan yang memengaruhi LCC sistem HVAC pada sektor perhotelan meliputi efisiensi energi, biaya operasional, pemeliharaan rutin, serta desain awal sistem. Temuan ini memberikan panduan bagi pelaku industri perhotelan untuk melakukan investasi awal yang tepat, meningkatkan efisiensi operasional, serta merancang strategi pemeliharaan yang efektif. Untuk penelitian lanjutan, direkomendasikan untuk melakukan studi kasus empiris di hotel-hotel Indonesia guna memvalidasi temuan dan mengembangkan model optimasi LCC yang spesifik untuk konteks lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- Alassafi, H. T., Al-Gahtani, K. S., Almohsen, A. S., & Alsugair, A. M. (2024). HVAC maintainability risks in healthcare facilities: a design optimization perspective. *Facilities*, 42(15–16), 30–52. <https://doi.org/10.1108/F-09-2022-0121>
- Al-Ghamdi, M. A., & Al-Gahtani, K. S. (2022). Integrated Value Engineering and Life Cycle Cost Modeling for HVAC System Selection. *Sustainability (Switzerland)*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/su14042126>
- Almutairi, K., Thoma, G., Burek, J., Algarni, S., & Nutter, D. (2015). Life cycle assessment and economic analysis of residential air conditioning in Saudi Arabia. *Energy and Buildings*, 102, 370–379. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.004>
- Arroyo, P., Tommelein, I. D., Ballard, G., & Rumsey, P. (2016). Choosing by advantages: A case study for selecting an HVAC system for a net zero energy museum. *Energy and Buildings*, 111(October), 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.10.023>
- ASHRAE (American Society of Heating, R. and A.-C. E. (2021). *2021 ASHRAE Handbook Online*.
- Asim, N., Badiei, M., Mohammad, M., Razali, H., Rajabi, A., Chin Haw, L., & Jameelah Ghazali, M. (2022). Sustainability of Heating, Ventilation and Air-Conditioning (HVAC) Systems in Buildings—An Overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph19021016>
- ASTM-E917-17. (t.t.). *ASTM-E917-17 Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems*. i. <https://doi.org/10.1520/E0917-17.Several>
- Ates, S. A. (2015). Life cycle cost analysis: An evaluation of renewable heating systems in Turkey. *Energy Exploration and Exploitation*, 33(4), 621–638. <https://doi.org/10.1260/0144-5987.33.4.621>
- Chau, C. K., Leung, T. M., & Ng, W. Y. (2015). A review on life cycle assessment, life cycle energy assessment and life cycle carbon emissions assessment on buildings. *Applied Energy*, 143(1), 395–413. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.023>
- De Carlo, F., & Arleo, M. A. (2013). Maintenance cost optimization in condition based maintenance: A case study for critical facilities. *International Journal of Engineering and Technology*, 5(5), 4296–4302.
- Dezfouli, M. M. S., Dehghani-Sanij, A. R., Kadir, K., & Sopian, K. (2023). Development and life cycle cost analysis of a solar hybrid HVAC system for use in buildings in tropical climates. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 57, 103143. <https://doi.org/10.1016/J.SETA.2023.103143>
- Ferdyn-Grygierek, J., & Grygierek, K. (2017). Multi-Variable optimization of building thermal design using genetic algorithms. *Energies*, 10(10), 1–20. <https://doi.org/10.3390/en10101570>
- Gibbons, L., & Javed, S. (2023). Cost-optimal analysis of energy efficient hvac solution-sets for low-energy apartment buildings. *Energy and Buildings*, 295(June), 113332. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113332>
- Gobinath, P., Crawford, R. H., Traverso, M., & Rismanchi, B. (2024). Comparing the life cycle costs of a traditional and a smart HVAC control system for Australian office buildings. *Journal of Building Engineering*, 91(May), 109686. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.109686>
- Hampo, C. C., Mokhtar, A. A., Muhammed, M., Rasangika, K. A. H. D., & Shanshan, Y. (2022). Life cycle cost analysis of an electric centrifugal chiller integrated with a district cooling plant. *International Journal of Sustainable Energy*, 41(8), 1021–1036. <https://doi.org/10.1080/14786451.2021.2021907>
- Han, G., Srebric, J., & Enache-Pommer, E. (2014). Variability of optimal solutions for building components based on comprehensive life cycle cost analysis. *Energy and Buildings*, 79, 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.036>

Hansen, D. (Oklahoma S. U., & Mowen, M. (Oklahoma S. U. (2016). *Cost Management Accounting and Control*.

ISO (International Organization for Standardization) 15686-5:2017. (2017). *ISO 15686-5:2017 – Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 5: Life-cycle costing*. 2017. Diambil dari www.iso.org/TechnicalStandardsPreview

JRC Science and Policy Report. (2014). *A review of factors affecting environmental and economic life-cycle performance for electrically-driven heat pumps*. <https://doi.org/10.2790/39961>

Kementerian ESDM. (2012). *Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2012*.

Kumar, D., Ali, I., Hakeem, M., Junejo, A., & Harijan, K. (2019). LCC Optimization of Different Insulation Materials and Energy Sources Used in HVAC Duct Applications. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(6), 5679–5696. <https://doi.org/10.1007/s13369-018-3689-x>

Legorburu, G., & Smith, A. D. (2020). Incorporating observed data into early design energy models for life cycle cost and carbon emissions analysis of campus buildings. *Energy and Buildings*, 224(July). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110279>

Leigh, S. B., & Won, J. S. (2004). A Case Study for Design Decisions on Building Service System using LCC Analysis. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 3(1), 77–84. <https://doi.org/10.3130/jaabe.3.77>

Longart, P. (2020). Understanding Hotel Maintenance Management. *Journal of Quality Assurance in Hospitality and Tourism*, 21(3), 267–296. <https://doi.org/10.1080/1528008X.2019.1658148>

Marszal, A. J., & Heiselberg, P. (2011). Life cycle cost analysis of a multi-storey residential Net Zero Energy Building in Denmark. *Energy*, 36(9), 5600–5609. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.07.010>

Murphy, M. D., Allen, A., Henze, G. P., & Long, N. L. (2024). Optimal environmental and economic performance trade-offs for fifth generation district heating and cooling network topologies with waste heat recovery. *Energy Conversion and Management*, 309(December 2023), 118322. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118322>

Na, Y. J., Nam, E. J., & Yang, I. H. (2010). Life cycle cost analysis of air conditioning systems in a perimeter zone for a variable air volume system in office buildings. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 9(1), 243–250. <https://doi.org/10.3130/jaabe.9.243>

Navon, R., Arkin, H., & Burg, I. (1997). Economic evaluation of HVAC systems with ice storage designed using an optimization technique. *Construction Management and Economics*, 15(5), 429–439. <https://doi.org/10.1080/014461997372809>

Orynycz, O., & Tucki, K. (2021). Total productive maintenance approach to an increase of the energy efficiency of a hotel facility and mitigation of water consumption. *Energies*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/en14061706>

Plebankiewicz, E., Zima, K., & Wieczorek, D. (2016). Life Cycle Cost Modelling of Buildings with Consideration of the Risk. *Archives of Civil Engineering*, 62(2), 149–166. <https://doi.org/10.1515/ace-2015-0071>

Reina, A., Kocsis, Á., Merlo, A., Németh, I., & Aggogeri, F. (2016). Maintenance Decision Support for Manufacturing Systems Based on the Minimization of the Life Cycle Cost. *Procedia CIRP*, 57, 674–679. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.117>

Shen, Z., Hongyu Zhou, & Som Shrestha. (2020). *LCC-based framework for building envelope and structure co-design considering energy efficiency and natural hazard performance*.

Stutman, M. B. (2010). Using field measurements of air filter performance and HVAC fan energy measurements to select air filters with lowest life cycle cost. *World Energy Engineering Congress 2010, WEEC 2010*, 4, 2377–2382.



Torres, Y. D., Herrera, H. H., Plasencia, M. A. A. G., Novo, E. P., Cabrera, L. P., Haeseldonckx, D., & Silva-Ortega, J. I. (2020). Heating ventilation and air-conditioned configurations for hotelsan approach review for the design and exploitation. *Energy Reports*, 6(April), 487–497. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.09.026>

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). <https://doi.org/10.3390/buildings12122180>

Wang, Y., Dong, L., & Li, H. (2022). Economic Evaluation of Energy-Saving Retrofit of Existing Hotels. *Energies*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/en15030757>

West, J., Siddhpura, M., Evangelista, A., & Haddad, A. (2024). Improving Equipment Maintenance—Switching from Corrective to Preventative Maintenance Strategies. *Buildings*, 14(11), 1–16. <https://doi.org/10.3390/buildings14113581>

Zhang, Y., Kin, F., Hui, P., Duffield, C., & Mohammed, A. (2020). *A review of facilities management interventions to mitigate respiratory infections in existing buildings*. (January).
