

BUILDING INFORMATION MODELLING UNTUK LIFE CYCLE COST DALAM PROYEK KONSTRUKSI: KAJIAN BIBLIOMETRIK

Yulius Chaesario Kurniawan^{1,*}, Nectaria Putri Pramesti¹

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jln Babarsari 43 Yogyakarta

*Corresponding authors: 235119704@students.uajy.ac.id

Abstract: This study examines the integration of Building Information Modeling (BIM) in Life Cycle Cost (LCC) within construction projects, using bibliometric analysis to map publication trends from 2015 to 2024. Based on 103 documents analyzed using VOSviewer software, the trend shows a significant increase after 2019, with the highest number of publications in 2019 and 2021, each with 17 articles (16.67%). The analysis involves 291 authors, with Jrade Ahmad identified as the most productive author (4 documents, 66 citations). In the co-citation analysis, the Sustainability journal was recorded as the most cited source (107 citations). Technically, this study leverages VOSviewer to analyze collaboration networks, with 27 authors meeting the minimum criterion of two documents. The keyword network highlights "BIM" with 293 occurrences, closely linked to "life cycle cost" and "life cycle assessment." The results also show significant contributions from countries such as the United States, China, and Australia, each producing 10 publications. BIM facilitates the automation of LCC calculations, reducing manual errors and improving estimation efficiency through the integration of tools like Revit with Dynamo or Excel. Life cycle cost calculations encompass design, construction, operation, and maintenance phases. Tools such as Green Building Studio (GBS) and One Click LCA support the integration of LCA to analyze environmental impacts and cost efficiency. This study underscores the importance of developing standardized BIM libraries and enhancing global collaboration to address challenges such as high costs and a lack of skilled professionals.

Keywords: building information modeling (BIM), life cycle costing (LCC), construction projects, integration

Abstrak: Penelitian ini mengkaji integrasi Building Information Modeling (BIM) dalam Life Cycle Cost (LCC) pada proyek konstruksi, menggunakan analisis bibliometrik untuk memetakan tren publikasi antara 2015 hingga 2024. Dari 103 dokumen yang dianalisis menggunakan perangkat lunak VOSviewer, tren menunjukkan peningkatan signifikan setelah 2019, dengan jumlah publikasi tertinggi pada 2019 dan 2021, masing-masing 17 artikel (16,67%). Analisis ini melibatkan 291 penulis, dengan Jrade Ahmad menjadi penulis paling produktif (4 dokumen, 66 kutipan). Dalam analisis co-citation, jurnal Sustainability tercatat sebagai sumber paling banyak dikutip (107 kutipan). Secara teknis, studi ini memanfaatkan VOSviewer untuk menganalisis jaringan kolaborasi, dengan 27 penulis memenuhi kriteria minimal dua dokumen. Jaringan kata kunci menyoroti "BIM" dengan frekuensi 293 kemunculan, terhubung erat dengan "life cycle cost" dan "life cycle assessment". Hasil juga menunjukkan kontribusi signifikan dari negara seperti Amerika Serikat, Tiongkok, dan Australia, masing-masing menghasilkan 10 publikasi. BIM memungkinkan otomatisasi perhitungan LCC, mengurangi kesalahan manual, dan meningkatkan efisiensi estimasi melalui integrasi perangkat seperti Revit dengan Dynamo atau Excel. Perhitungan biaya siklus hidup meliputi desain, konstruksi, hingga operasi dan pemeliharaan. Alat seperti Green Building Studio (GBS) dan One Click LCA membantu mengintegrasikan LCA untuk menganalisis dampak lingkungan dan efisiensi biaya. Penelitian ini menekankan pentingnya pengembangan perpustakaan BIM yang seragam dan peningkatan kolaborasi global untuk mengatasi tantangan seperti biaya tinggi dan kurangnya tenaga ahli terlatih.

Kata kunci: pemodelan informasi bangunan, biaya siklus hidup, proyek konstruksi, integrasi

PENDAHULUAN

Dalam era digital saat ini, teknologi telah memainkan peran penting dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk dalam bidang konstruksi (Alasmari et al., 2022). Salah satu teknologi yang telah menunjukkan potensi besar adalah *Building Information Modeling* (BIM). BIM adalah proses yang melibatkan generasi dan manajemen data fisik dan fungsional bangunan. Teknologi ini telah menjadi alat yang sangat berharga dalam industri konstruksi karena kemampuannya untuk memvisualisasikan proyek sebelum konstruksi dimulai. Dengan demikian, BIM memungkinkan perencanaan yang lebih baik dan efisiensi biaya, yang pada akhirnya dapat menghasilkan proyek yang lebih sukses dan berkelanjutan (Alasmari et al., 2022).

Adopsi BIM dalam *Life Cycle Cost* (LCC) telah menjadi topik penelitian yang penting dalam bidang teknik sipil dan konstruksi. Melalui BIM, informasi proyek yang digunakan selama desain dapat dibagi untuk memperkirakan biaya akhir proyek. Ini mencakup biaya investasi awal, biaya pemeliharaan, biaya operasional, dan nilai sisa aset pada akhir hidupnya. Salah satu aspek penting dalam manajemen proyek konstruksi adalah LCC. LCC adalah analisis total biaya yang terkait dengan proyek selama siklus hidupnya, mulai dari perencanaan hingga pembongkaran. Dengan mempertimbangkan semua biaya ini, pengambil keputusan dapat membuat pilihan yang lebih berinformasi tentang nilai jangka panjang dari investasi mereka. Selain itu, LCC juga memungkinkan pemangku kepentingan untuk memahami dan mengelola risiko yang terkait dengan biaya proyek. Oleh karena itu, LCC adalah alat penting untuk memastikan keberlanjutan finansial proyek (Alasmari et al., 2022).

Penelitian tentang integrasi BIM dengan LCC dalam manajemen bisnis konstruksi mengungkap berbagai manfaat sekaligus tantangan utama. BIM memungkinkan pengelolaan data LCC secara akurat dan *real-time*, yang sangat penting untuk mendukung investasi properti yang berkelanjutan dan efisien (Sathe & Pimplikar, 2021). Selain itu, BIM memfasilitasi pengambilan keputusan yang lebih baik dengan menyediakan perhitungan *Life Cycle Assessment* (LCA) dan *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) yang akurat, terutama pada

tahap awal desain. Namun, beberapa tantangan masih dihadapi, seperti akuisisi data yang kompleks, masalah integrasi teknologi, dan kebutuhan akan skema standar yang seragam (Sinoh et al., 2024). Penelitian ini menyoroti pentingnya pengembangan perpustakaan BIM yang komprehensif serta sistem kode terpadu untuk mendukung integrasi LCC secara efektif. Secara keseluruhan, peran BIM dalam analisis LCC sangat penting untuk mencapai keberlanjutan ekonomi dan mengurangi biaya siklus hidup proyek konstruksi (Altaf et al., 2020). Studi dasar oleh Monica (2015) juga menekankan pentingnya alat BIM yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan spesifik industri konstruksi, terutama dalam aplikasi *Green BIM*. Meskipun BIM umumnya digunakan pada fase desain untuk mendukung keberlanjutan, adopsinya pada fase konstruksi masih terbatas. Melanjutkan dasar ini, Kehily & Underwood (2017) mengeksplorasi lebih jauh hubungan antara BIM dan LCC, khususnya dalam bidang *Quantity Surveying* (QS). Mereka mencatat bahwa meskipun penelitian tentang LCC sudah cukup luas, penerapannya dalam QS masih terhambat oleh berbagai kendala.

Namun, implementasi BIM dalam LCC bukanlah tugas yang mudah. Ada berbagai tantangan dan hambatan yang mungkin dihadapi. Salah satunya adalah kurangnya sumber daya manusia yang terampil dalam menggunakan BIM. Selain itu, biaya investasi yang tinggi terkait dengan spesifikasi perangkat lunak dan perangkat keras yang diperlukan juga menjadi kendala tersendiri. Selain itu, perubahan budaya kerja juga menjadi tantangan dalam adopsi BIM. Banyak perusahaan konstruksi lebih memilih untuk tetap menggunakan sistem lama yang dianggap lebih mudah dikelola dan berisiko lebih rendah. Namun, dengan pelatihan yang tepat dan pemahaman yang baik tentang manfaat BIM, hambatan ini dapat diatasi (Purnomo et al., 2022). Meskipun ada tantangan, manfaat adopsi BIM dalam LCC sangat signifikan. BIM menawarkan peluang besar untuk menyimpan, memvisualisasikan, mengambil, dan menganalisis informasi teknis dan keuangan secara sistematis. Dengan demikian, BIM dapat memfasilitasi pengambilan keputusan yang objektif dan optimal sepanjang seluruh rentang hidup proyek (Purnomo et al., 2022). Kontribusi terbaru dari Daniotti (2022) memperluas diskusi peran BIM dalam LCC dengan mengeksplorasi

penerapannya pada *Pavement Management Systems*. Temuan mereka menunjukkan bahwa *Intelligent BIM* (I-BIM) dapat mengoptimalkan manajemen struktur jalan seiring waktu, dengan memanfaatkan data *real-time* untuk menentukan strategi pemeliharaan.

Studi ini dilatarbelakangi oleh meningkatnya perhatian terhadap penggunaan BIM dalam mendukung analisis LCC pada proyek konstruksi. Oleh karena itu, dua permasalahan utama dirumuskan untuk diteliti lebih lanjut. Pertama, bagaimana tren publikasi di bidang BIM terkait LCC pada proyek konstruksi? Pertanyaan ini penting untuk memahami perkembangan penelitian dan teknologi yang berhubungan dengan integrasi BIM dalam LCC. Kedua, bagaimana BIM dapat diaplikasikan secara efektif dalam analisis LCC pada proyek konstruksi? Permasalahan ini bertujuan mengeksplorasi potensi BIM sebagai alat yang mendukung pengambilan keputusan berbasis data sepanjang siklus hidup proyek. Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk menjawab kedua pertanyaan tersebut dengan memberikan gambaran tentang tren publikasi ilmiah serta menjelaskan cara penerapan BIM dalam mendukung analisis LCC. Akhirnya, kami berharap bahwa penelitian ini akan membantu membentuk masa depan industri konstruksi yang lebih berkelanjutan dan efisien.

METODE

Penelitian ini ditujukan untuk memahami pola publikasi dalam konteks adopsi BIM pada LCC proyek konstruksi, dengan menggunakan teknik analisis bibliometrik dan ulasan literatur tentang bagaimana BIM dapat diaplikasikan dalam LCC dalam proyek konstruksi. Penulisan artikel ini dilakukan dengan pendekatan metode kualitatif untuk menganalisis berbagai artikel yang berkaitan dengan BIM dan biaya siklus hidup pada konstruksi. Pendekatan ini melibatkan analisis bibliometrik dan tinjauan isi untuk mengevaluasi tren literatur selama 10 tahun dan memberikan gambaran tentang bagaimana BIM digunakan dalam mengelola biaya siklus hidup konstruksi. Proses penulisan paper ini melibatkan tiga tahap, yaitu persiapan dan pengumpulan data berupa artikel atau publikasi yang berkaitan dengan penggunaan BIM mengelola biaya siklus hidup konstruksi, diikuti dengan analisis bibliometrik

dan akhirnya dilakukan tinjauan atas hasil yang ditemukan.

Persiapan dan pengumpulan data

Tahap ini akan dikumpulkan informasi tentang topik penelitian yang relevan dengan masalah yang diangkat (Cooper, 2016). Pada studi ini, jenis dokumen yang dipilih berupa artikel, makalah konferensi dan reviews, agar dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai penelitian yang ada (Hosamo et al., 2022). Jenis dokumen yang dipilih terbatas pada dokumen yang menggunakan Bahasa Inggris karena VOSviewer hanya dapat memproses dokumen yang berbahasa Inggris (van Eck & Waltman, 2010). Penelitian ini didasarkan pada database scopus dengan kata kunci "*Building Information Modelling*" atau "*BIM*" dan "*Life Cycle Cost*" atau "*LCC*" atau "*Life Cycle Cost Analysis*" atau "*LCCA*" dan "*application*" atau "*interaction*" atau "*Implementation*" atau "*Integration*" atau "*Integrating*". Studi ini meneliti publikasi yang diterbitkan pada tahun 2015 hingga 2024. Akhirnya, diperoleh 103 publikasi penelitian, yang selanjutnya akan digunakan dalam analisis pada tahapan berikutnya.

Analisis bibliometrik

Analisis bibliometrik adalah metode kuantitatif yang digunakan untuk menganalisis dan mengukur karakteristik, pola, dan tren dalam literatur ilmiah (Baas et al., 2020). VOSviewer adalah aplikasi perangkat lunak yang kerap dipakai dalam studi bibliometrik. Fungsinya adalah untuk memetakan dan memvisualisasikan data penelitian berdasarkan jaringan yang ada. Dalam konteks penelitian ini, VOSviewer digunakan dalam analisis bibliometrik. Analisis bibliometrik bisa diaplikasikan untuk mengilustrasikan performa dan tren penelitian dari penulis, jurnal, negara, dan institusi. Selain itu, juga bisa digunakan untuk mengenali dan menghitung pola kolaborasi antara entitas-entitas tersebut.

Beberapa teknik bibliometrik yang dicakup oleh software ini, antara lain analisis kepengarangan bersama (*co-authorship*), kemunculan bersama (*co occurrence*), kutipan (*citations*), penggabungan bibliografi, dan kutipan bersama (*co-citations*). Informasi yang diambil dari database Scopus dalam format file CSV diintegrasikan ke dalam perangkat lunak

VOSviewer untuk membentuk jaringan publikasi yang didasarkan pada kutipan langsung. VOSviewer menghasilkan peta jaringan yang berdasarkan pada jarak, di mana kedekatan antara node ditunjukkan oleh jarak antara mereka. Warna dalam jaringan menandakan konsentrasi kutipan, dengan warna merah menunjukkan konsentrasi kutipan yang paling tinggi (van Eck & Waltman, 2010).

HASIL DAN PEMBAHASAN

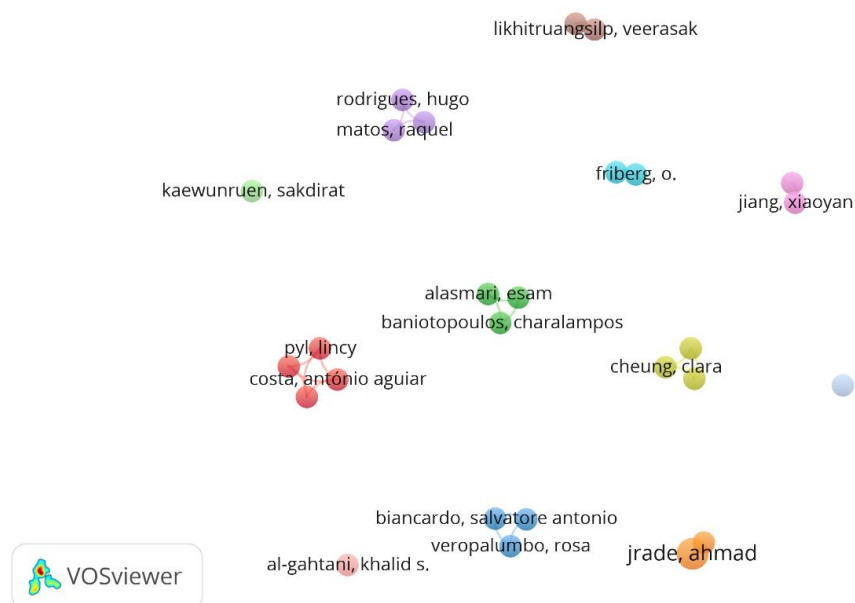
Tren publikasi di bidang BIM terkait LCC

Bagian ini menyajikan hasil analisis data untuk memberikan gambaran tren publikasi di bidang BIM terkait LCC. Melalui analisis bibliometrik, pola publikasi tahunan, identifikasi penulis, negara asal, sumber publikasi, dan kata kunci utama dianalisis, menunjukkan peningkatan signifikan dalam minat terhadap topik ini, terutama terkait keberlanjutan dan efisiensi biaya. Tren ini diperkuat dengan penelaahan literatur mendalam menggunakan dokumen yang

sering dikutip bersama, mengungkap koneksi antar penelitian dan kontribusinya terhadap pengembangan ilmu di bidang BIM dan LCC. Pendekatan ini memberikan pemahaman yang jelas tentang fokus utama penelitian sekaligus mengidentifikasi arah pengembangan untuk studi lanjutan.

Produktivitas penulis *paper* dengan topik BIM pada LCC

Kinerja penulis dapat diukur melalui jumlah dokumen yang mereka produksi. Jaringan kolaborasi penulisan (*co-authorship network*) menggambarkan kerjasama antar penulis. Berdasarkan jaringan kolaborasi penulisan yang telah dibuat (Gambar 1), terlihat bahwa sejumlah penulis cenderung bekerja secara independen dan hubungan antar penulis tidak terlalu banyak. Dari total 291 penulis, dengan kriteria minimal dua dokumen per penulis, ada 27 penulis yang memenuhi kriteria tersebut. Jaringan kolaborasi penulisan yang telah terbentuk mencakup 12 kelompok dan 22 tautan.



Gambar 1. Jaringan ke penulisan bersama (*co-authorship network*)

Berdasarkan analisis dari 291 penulis, 10 penulis teratas dengan setidaknya dua dokumen dan 1 kutipan diidentifikasi, dan disajikan dalam Tabel 1. Penulis yang paling banyak melakukan publikasikan, yaitu Jade dengan 4 dokumen. Kemudian kolaborasi yang kuat juga

terjadi di antara beberapa penulis, yang ditunjukkan oleh *total link strength* (TLS) yang sampai dengan 6. Untuk analisis kutipan bersama penulis (*co-citation analysis of authors*), 15 penulis memenuhi batasan jumlah minimum 20 kutipan. Tiga penulis dengan jumlah kutipan

bersama terbanyak adalah Sacks, R. (33 kutipan), Wang X. (32 kutipan), dan Azhar S. (31 kutipan). Berikut dibawah ini adalah analisis beberapa clusternya.

1. Cluster Merah (Costa, António Aguiar dan Pyl, Lincy): Berdasarkan judul artikel yang ditemukan di data Excel, penelitian dari kelompok ini tampaknya banyak berfokus pada aspek keberlanjutan dan manajemen biaya siklus hidup LCC dalam konstruksi. Topik ini relevan dengan upaya optimalisasi pemilihan material dan efisiensi energi dalam bangunan.
2. Cluster Hijau (Alasmar, Esam dan Baniotopoulos, Charalampos): Dari judul dan topik yang teridentifikasi, kelompok ini berfokus pada studi rekayasa struktural dan ketahanan infrastruktur bangunan, yang mungkin juga melibatkan metode analisis

risiko atau desain yang mendukung keberlanjutan.

3. Cluster Ungu (Rodrigues, Hugo dan Matos, Raquel): Berdasarkan topik dalam dataset, peneliti dalam cluster ini berkaitan dengan teknik pemodelan atau simulasi infrastruktur, yang sering kali terkait dengan analisis struktural dan optimasi penggunaan material.
4. Cluster Biru (Biancardo, Salvatore Antonio dan Veropalumbo, Rosa): Kelompok ini berfokus pada penelitian tentang penggunaan material alternatif dan teknologi canggih dalam konstruksi berkelanjutan, berdasarkan judul dan sumber artikel mereka. Topik ini sangat relevan dalam konteks penilaian daur hidup material bangunan.

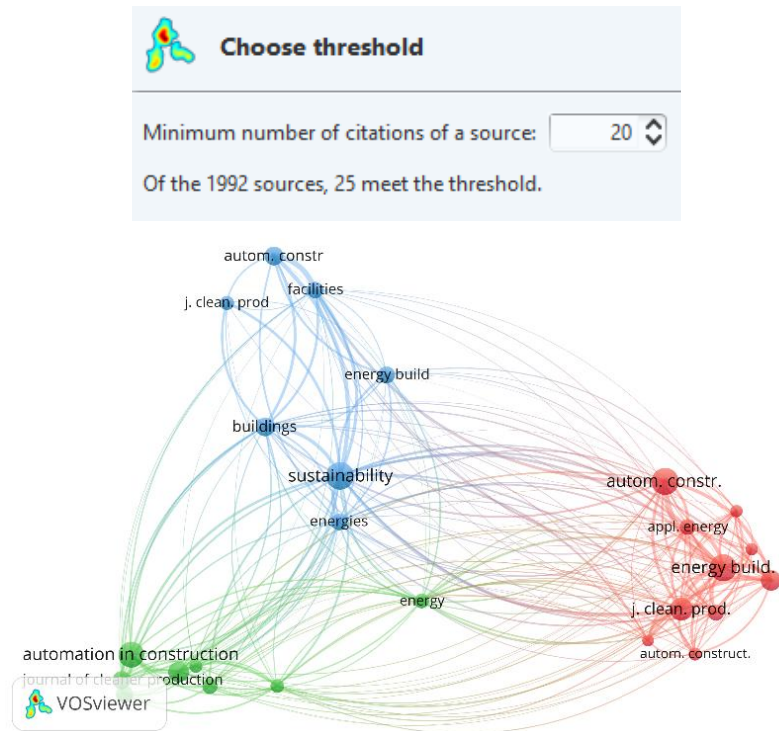
Tabel 1. Produktivitas Penulis

Co-Authorship			Co-Citation			
Penulis	Jumlah dokumen	Jumlah kutipan	TLS	Penulis	Jumlah kutipan	TLS
Jrade, Ahmad	4	66	1	Sacks R.	33	187
Al-Gahtani, Khalid S.	2	3	0	Wang X.	32	246
Alasmari, Esam	2	18	4	Azhar S.	31	188
Baniotopoulos, Charalampos	2	18	4	Jalaei F.	29	224
Biancardo, Salvatore Antonio	2	21	4	Santos R.	29	251
Cheung, Clara	2	15	4	Eastman C.	26	165
Costa, António Aguiar	2	314	6	Jrade A.	25	211
Friberg, O.	2	3	2	Kaewunruen S.	25	150
Jalaei, Farzad	2	114	1	Habert G.	24	199
jiang, xiaoyan	2	127	2	Silvestre J.D.	24	240

Keterangan : TLS - *Total Link Strength*

Analisis kutipan bersama dari sumber (*co-citation analysis of source*) bertujuan untuk mengidentifikasi sumber-sumber, dalam hal ini jurnal-jurnal yang menjadi penerbit atau tempat publikasi dari dokumen yang terkumpul. Dengan jumlah minimum dari kutipan pada sebuah sumber dibatasi sebesar 20 kutipan, didapatkan dari

1992 sumber, terdapat 25 sumber di antaranya yang memenuhi syarat, jaringan yang terbentuk ditunjukkan pada gambar 2. Ada pun, sepuluh sumber/jurnal yang menempati posisi teratas sebagai tempat publikasi dari semua dokumen dirangkum dalam tabel 2.



Gambar 2. Jaringan kutipan bersama sumber (*source co-citation network*)

Tabel 2. *Publisher* teratas

Peringkat	<i>Publisher</i>	Jumlah kutipan
1	Sustainability	107
2	Energy Build.	101
3	Autom. Constr.	100
4	Automation In Construction	94
5	J. Clean. Prod.	71
6	Build. Environ.	60
7	Energy And Buildings	59
8	Autom. Constr	50
9	Buildings	50
10	Journal Of Cleaner Production	47

Perkembangan publikasi tahunan *paper* dengan topik BIM pada LCC

Studi ini meneliti publikasi mengenai topik BIM dan siklus biaya hidup konstruksi, yang diterbitkan pada tahun 2015 hingga 2024 (berakhir pada tanggal 8 November 2024). Sepanjang interval tahun tersebut, seperti yang ditunjukkan pada tabel 3, terjadi peningkatan

publikasi yang signifikan pada tahun 2019 hingga tahun 2024, dari yang sebelumnya hanya terdapat 7 artikel publikasi meningkat menjadi 17 artikel publikasi. Pertumbuhan publikasi, mengenai topik BIM dan biaya siklus hidup konstruksi yang terindeks scopus, tertinggi terjadi pada tahun 2019 dan 2021 yang mencapai 17 publikasi (16,67%). Pertumbuhan publikasi tahunan secara lengkap dapat dilihat pada tabel 3.

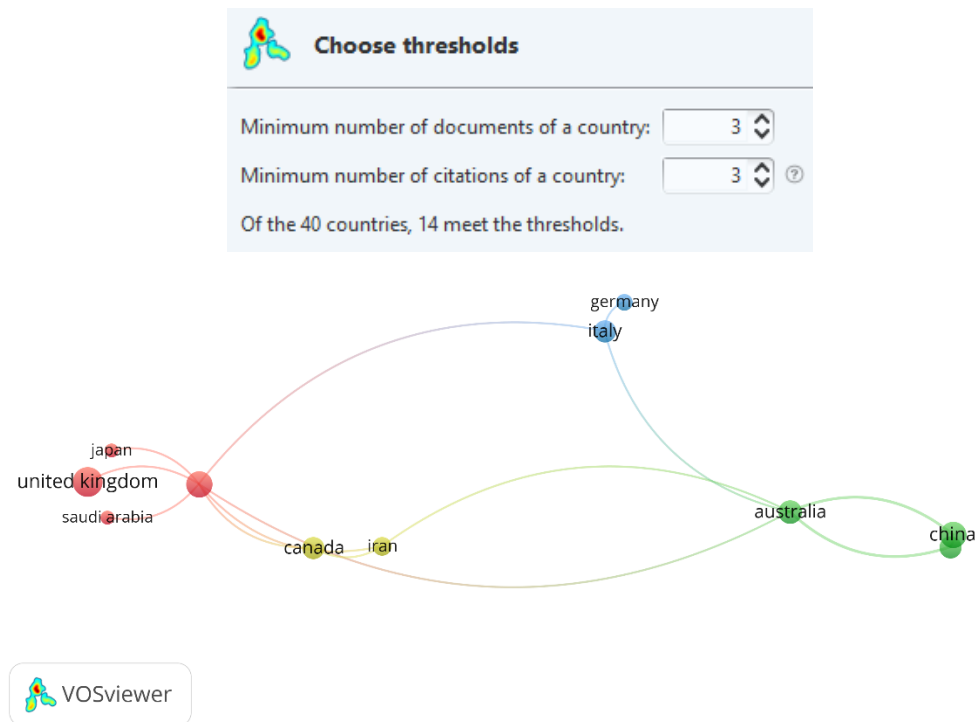
Tabel 3. Perkembangan publikasi per tahun

Tahun	Jumlah dokumen	Presentase
2015	2	1.96
2016	1	0.98
2017	4	3.92
2018	7	6.86
2019	17	16.67
2020	13	12.75
2021	17	16.67
2022	11	10.78
2023	15	14.71
2024	15	14.71

Keterlibatan negara/wilayah pada *paper* dengan topik BIM pada LCC

Jaringan dari negara/wilayah menunjukkan kaitan antara negara/wilayah yang berkontribusi dalam artikel yang terkait dengan BIM dan biaya siklus hidup proyek konstruksi. Dengan memberikan batasan jumlah dokumen minimum dari tiap negara sebanyak 3 dan jumlah kutipan minimum untuk tiap negara sebanyak 3,

terbentuk jaringan dari negara/wilayah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan batasan jumlah minimum dokumen dan kutipan dari tiap negara terdapat 40 negara/wilayah dan hanya 14 negara/wilayah di antaranya yang memiliki kaitan antara satu dengan lainnya.



Gambar 3. Jaringan dari negara/wilayah

Ukuran dari lingkaran/node masing-masing negara/wilayah menunjukkan banyaknya dokumen dari negara/wilayah tersebut, semakin besar ukuran lingkarannya menunjukkan bahwa semakin banyak dokumen dari negara/wilayah tersebut dan sebaliknya. Berdasarkan jaringan yang terbentuk (Gambar 3), dapat dilihat bahwa tiga negara dengan jumlah dokumen terbanyak yaitu Australis (8 dokumen), United States (10 dokumen), dan China (10 dokumen).

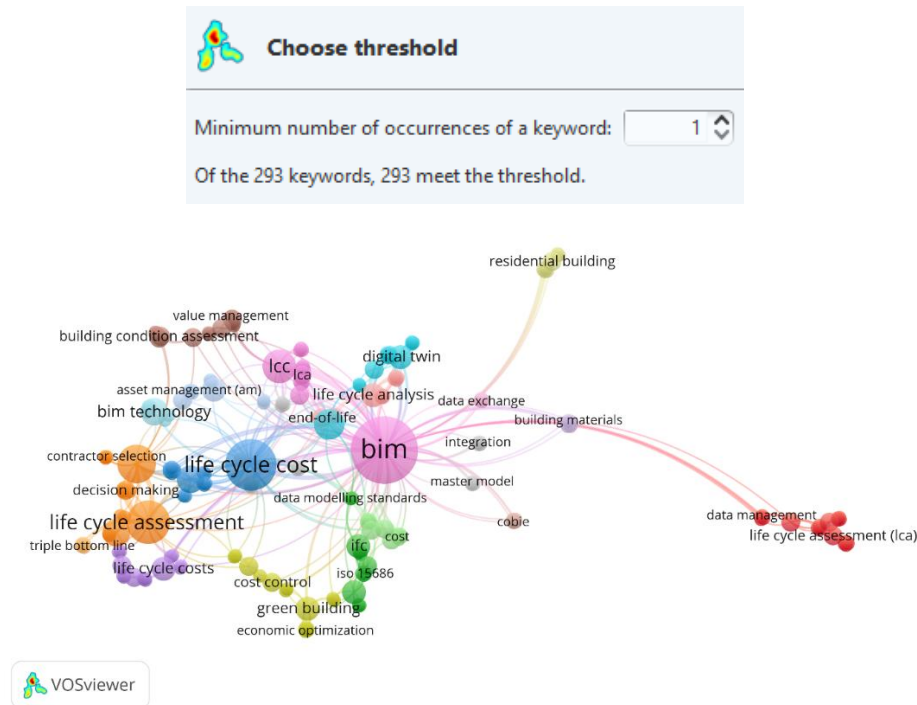
Analisis kata kunci *paper* dengan topik BIM pada LCC

Kata kunci merupakan salah satu komponen penting dalam suatu artikel penelitian, karena dapat secara efektif mencerminkan ide inti dari penelitian (Chen et al., 2016). *Software* VOSviewer dapat

digunakan untuk mengidentifikasi kata kunci yang paling sering muncul, yang mewakili topik yang sedang ditinjau, seperti yang disarankan oleh para penulis, untuk mewakili penelitian mereka dengan baik (Leong et al., 2021) dalam jurnal (Goretti & Kaming, 2023). Selain itu, dalam analisis bibliometrik, jaringan kemunculan bersama kata kunci juga mencerminkan topik-topik yang sedang hangat (Fan et al., 2020). Dalam visualisasi data menggunakan VOSviewer, terdapat tiga opsi pilihan kata kunci yang ingin ditampilkan yaitu, kata kunci penulis (*author keywords*), kata kunci indeks (*index keywords*), dan semua kata kunci (*all keywords*). Dalam studi ini, kata kunci penulis dianalisis untuk menghasilkan jaringan kata kunci yang muncul bersama (*keywords co-occurrence network*) semakin dekat korelasi antara kedua kata kunci tersebut, sebaliknya semakin jauh jaraknya, semakin jauh pula

korelasi antara kedua kata kunci tersebut (van Eck & Waltman, 2010). Selain itu, warna dari lingkaran-lingkaran dalam jaringan mewakili

kelompok kata kunci yang terkait (*clustering*) (Hosamo et al., 2022).



Gambar 4. Jaringan kemunculan bersama semua kata kunci

Berdasarkan jaringan yang terbentuk, dapat dilihat bahwa kata kunci “bim” memiliki frekuensi kemunculan terbanyak (293 kemunculan). Kata kunci ini memiliki keterkaitan dengan beberapa kata kunci lainnya, di antaranya yaitu *life cycle cost* dan *life cycle assessment*, yang merupakan topik utama dalam makalah ini. Jaringan kemunculan bersama kata kunci yang terbentuk terdiri atas 24 clusters dari 227 *items*, dengan batas minimum kemunculan sebuah kata kunci yaitu sebanyak 1.

Dari visualisasi VOSviewer tentang jaringan kemunculan bersama (*co-occurrence*) semua kata kunci, kita dapat mengidentifikasi tema utama yang sering dikaitkan dalam penelitian yang melibatkan BIM (*Building Information Modelling*), *Life Cycle Cost* (LCC), dan *Life Cycle Assessment* (LCA). Berikut ini adalah analisis dari keterkaitan antar-kata kunci berdasarkan jaringan yang ditampilkan:

1. Pusat Kata Kunci "BIM":

Kata kunci BIM menjadi pusat jaringan dengan banyak koneksi ke kata kunci lain, seperti *life*

cycle cost, *life cycle analysis*, *data exchange*, dan *building materials*. Hal ini menunjukkan peran BIM sebagai kerangka utama yang mengintegrasikan data digital untuk evaluasi siklus hidup, termasuk LCC dan LCA, sekaligus menyatukan berbagai analisis dalam proyek konstruksi.

2. Keterkaitan BIM dengan *Life Cycle Cost* (LCC):

LCC dan BIM saling terhubung dengan kuat, yang mengindikasikan bahwa penelitian ini sering menggabungkan kedua konsep ini untuk mengoptimalkan biaya dalam siklus hidup bangunan. Hubungan ini menunjukkan bahwa BIM banyak digunakan untuk analisis LCC karena memungkinkan visualisasi dan prediksi biaya pada setiap tahap siklus hidup bangunan, mulai dari perencanaan, pembangunan, hingga pemeliharaan dan penghapusan bangunan. Keterkaitan ini relevan untuk analisis biaya dalam konteks keberlanjutan dan efisiensi energi, di mana BIM memungkinkan identifikasi dan pemantauan biaya sejak awal proyek hingga akhir.

3. Keterkaitan BIM dengan *Life Cycle Assessment* (LCA):

LCA, terutama dalam kaitannya dengan data management dan building materials, menunjukkan bahwa LCA dipakai untuk menganalisis dampak lingkungan dari penggunaan material bangunan sepanjang siklus hidup proyek. BIM memungkinkan integrasi data LCA, sehingga memudahkan peneliti dan profesional konstruksi untuk melacak dan mengurangi dampak lingkungan dari setiap keputusan yang diambil selama fase desain dan konstruksi. Hubungan antara BIM dan LCA mengindikasikan upaya untuk mencapai pembangunan yang lebih ramah lingkungan dengan pemilihan material dan metode konstruksi yang berkelanjutan.

Setelah menerapkan analisis bibliometrik dengan bantuan perangkat lunak VOSviewer, langkah berikutnya adalah meninjau sejumlah artikel penemuan yang memiliki keterkaitan kuat dengan subjek studi ini. Tujuannya adalah untuk mendapatkan pemahaman umum tentang isu-isu yang berkaitan dengan siklus biaya hidup proyek konstruksi.

BIM untuk *Life Cycle Cost* (LCC) dalam proyek konstruksi

LCC (*Life Cycle Cost*) mengacu pada total biaya yang dikeluarkan selama siklus hidup suatu produk atau aset. Ini mencakup semua biaya dari tahap desain dan pengembangan awal, melalui produksi, operasi, pemeliharaan, dan akhirnya pembuangan (Du et al., 2009). Analisis LCC dan estimasi biaya dengan menggunakan BIM, pemangku kepentingan dapat mendapatkan gambaran komprehensif tentang biaya siklus hidup bangunan, yang mencakup desain, konstruksi, operasi, pemeliharaan, dan biaya akhir hidup. Proses BIM memberikan informasi yang komprehensif dan akurat tentang setiap aspek bangunan, dari material hingga desain hingga elemen struktural, dalam hal LCC. Sebagai hasil dari estimasi biaya yang lebih akurat, gerbang ekonomi sirkular dapat mengatasi kesulitan dalam estimasi biaya dalam mengimplementasikan gerbang ini, karena mereka memungkinkan anggaran dan alokasi sumber daya yang lebih tepat (AlJaber et al., 2023).

Integrasi perangkat lunak estimasi biaya ke dalam BIM merampingkan proses estimasi,

memastikan konsistensi antara desain dan biaya, serta meningkatkan akurasi estimasi untuk material, tenaga kerja, peralatan, dan risiko. Dengan pembaruan otomatis saat terjadi perubahan desain, BIM mengurangi kesalahan dan meningkatkan efisiensi pengambilan jumlah untuk estimasi biaya. Representasi visualnya memfasilitasi komunikasi efektif antar pemangku kepentingan, mengurangi ketidaksepakatan, dan memprediksi potensi kelebihan biaya. Selain itu, BIM memberikan gambaran komprehensif tentang biaya proyek dari tahap desain hingga operasi, mendukung manajemen risiko, dan menyediakan informasi berharga untuk proyek di masa depan (AlJaber et al., 2023).

Dalam penelitian (Shibata et al., 2023) menunjukkan bahwa penggunaan LCA dan LCCA secara bersamaan dapat mempermudah pengambilan keputusan yang berkelanjutan dan hemat biaya dengan mengidentifikasi hubungan kompromi antara biaya upgrade dan penghematan energi. BIM menyediakan platform tunggal untuk perhitungan LCA dan LCCA secara bersamaan, serta ekstraksi data otomatis, mengurangi waktu perhitungan dan meningkatkan akurasi. Akibatnya, hasil yang konsisten dapat diperoleh untuk setiap opsi retrofit, memfasilitasi penilaian hubungan kompromi LCA/LCCA untuk optimalisasi retrofit.

Kehily & Underwood (2017) serta Likhitruangsilp (2019) mengusulkan metode untuk menambahkan komponen LCCA melalui model BIM 5D. Sebuah sistem otomatis untuk LCCA menggunakan pemrograman visual melalui Dynamo atau spreadsheet Excel untuk Autodesk Revit diusulkan. Menurut Hojatpanah (2019) dalam Khodabakhshian & Toosi (2021) memperkenalkan template untuk mengimplementasikan harga satuan di Revit untuk perhitungan biaya otomatis, yang merupakan tugas sederhana karena sifat parametrik dan cerdas dari BIM. Menggunakan BIM untuk menghitung *depresiasi real estat* sebagai alat dukungan keputusan yang efisien untuk pengembang dan manajer *real estat*. *Dynamo* digunakan untuk memperkirakan biaya depresiasi melalui bahasa pemrograman visual yang sederhana mengembangkan metode

berbasis LCA yang mengintegrasikan BIM untuk menilai.

BIM dapat diterapkan secara efektif dalam analisis LCC untuk proyek konstruksi dengan mengintegrasikan berbagai fungsi dan teknik manajemen data. Berikut adalah strategi utama untuk penerapan yang efektif:

1. Identifikasi dan Pengurangan Ketidaksesuaian : BIM membantu mengidentifikasi ketidaksesuaian kritis yang meningkatkan biaya operasional. Dengan mengatasi masalah ini melalui teknik optimasi, pengurangan biaya yang substansial dapat dicapai (Moradabadi et al., 2024).
2. Integrasi dan Berbagi Data : BIM memfasilitasi pembagian informasi proyek selama fase desain, yang dapat digunakan untuk memperkirakan biaya akhir masa pakai, termasuk biaya pemeliharaan dan operasional. Integrasi ini memastikan bahwa semua pemangku kepentingan memiliki akses ke data yang konsisten dan andal sepanjang siklus hidup proyek (Meinen et al., 2024).
3. Analisis Tahap Desain Awal Analisis tahap desain awal menggunakan BIM memungkinkan penilaian berbagai pilihan desain dan implikasi biayanya, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik dan optimalisasi biaya sejak awal (Yang et al., 2018).
4. Perhitungan LCC Otomatis : BIM dapat mengotomatiskan perhitungan LCC dengan mengintegrasikan dengan alat LCA, mengurangi waktu dan tenaga yang diperlukan untuk perhitungan manual dan meningkatkan akurasi dan keandalan hasil (Mohammed, 2023). Salah satu cara dibawah ini dapat digunakan untuk perhitngan LCC secara otomatis.
 - a. Gunakan perangkat lunak BIM yang mendukung ekstensi atau integrasi dengan alat analisis LCA/LCC.
 - b. Contoh alat LCC: One Click LCA, Tally, atau SimaPro.
 - c. Ekstrak data otomatis dari model BIM seperti kuantitas material, elemen konstruksi, siklus hidup bangunan, dan data energi.
 - d. Pastikan perangkat lunak BIM (seperti Revit atau ArchiCAD) sudah disesuaikan untuk

menyediakan data yang diperlukan, termasuk parametric data seperti usia material, biaya operasional, dan biaya pemeliharaan.

5. Optimalisasi Desain dan Keberlanjutan : Penggunaan alat seperti *Green Building Studio* (GBS) dan *One Click LCA* yang terintegrasi dengan Revit memungkinkan analisis seluruh bangunan dan desain unit spesifik untuk mengoptimalkan LCC dan LCA. Ini membantu meningkatkan efisiensi sumber daya, mengurangi dampak lingkungan, dan meningkatkan efektivitas biaya sepanjang siklus hidup bangunan (Alasmari et al., 2024)

KESIMPULAN

Analisis menunjukkan tren peningkatan publikasi di bidang BIM terkait LCC pada proyek konstruksi, terutama setelah 2019, dengan puncak jumlah publikasi mencapai 17 artikel pada 2019 dan 2021 (16,67% dari total). Data bibliometrik mencatat 291 penulis, di mana 27 di antaranya memiliki setidaknya dua dokumen, dengan Jrade, Ahmad menjadi penulis paling produktif (4 dokumen, 66 kutipan). Jaringan kolaborasi menunjukkan 12 kelompok dengan koneksi terbatas, mengindikasikan perlunya kolaborasi yang lebih erat. Berdasarkan analisis kata kunci, "BIM" muncul sebagai pusat dengan frekuensi kemunculan 293 kali, terhubung erat dengan "*life cycle cost*" dan "*life cycle assessment*", mencerminkan peran utama BIM dalam mengintegrasikan data digital untuk evaluasi biaya dan dampak lingkungan siklus hidup bangunan. Analisis geografis menunjukkan Amerika Serikat, China, dan Australia sebagai negara terdepan dalam publikasi, masing-masing dengan 10 dokumen. Temuan ini menggarisbawahi relevansi BIM dan LCC dalam mendukung keberlanjutan dan efisiensi biaya, sekaligus menunjukkan perlunya penelitian lanjutan untuk memperkuat kolaborasi internasional dan pengembangan teknologi.

BIM dapat diaplikasikan secara efektif dalam analisis Life Cycle Cost (LCC) pada proyek konstruksi dengan cara mengintegrasikan berbagai fungsi otomatisasi dan manajemen data. Melalui integrasi dengan alat analisis seperti LCA, BIM memungkinkan

pengumpulan, pengolahan, dan pembaruan data secara otomatis, seperti kuantitas material, siklus hidup bangunan, dan biaya operasional. Proses ini meningkatkan akurasi perhitungan, mengurangi waktu dan tenaga, serta memastikan konsistensi antara desain dan estimasi biaya. Selain itu, BIM memfasilitasi analisis pada tahap awal desain untuk mengevaluasi implikasi biaya berbagai alternatif, mendukung keputusan yang lebih optimal. Dengan visualisasi data yang mudah dipahami, BIM juga memperkuat komunikasi antar pemangku kepentingan, membantu mengidentifikasi ketidaksesuaian, mengurangi kesalahan, dan meningkatkan efisiensi manajemen biaya sepanjang siklus hidup bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alasmari, E., Martinez-Vazquez, P., & Baniotopoulos, C. (2022). A Systematic Literature Review of the Adoption of Building Information Modelling (BIM) on Life Cycle Cost (LCC). In *Buildings* (Vol. 12, Issue 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/buildings12111829>
- Alasmari, E., Martinez-Vazquez, P., & Baniotopoulos, C. (2024). Utilising BIM on LCC to Enhance the Sustainability of Saudi Residential Projects Through Simulation. A Case Study at the Kingdom of Saudi Arabia. In *Lecture Notes in Civil Engineering: Vol. 489 LNCE*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57800-7_61
- AlJaber, A., Alasmari, E., Martinez-Vazquez, P., & Baniotopoulos, C. (2023). Life Cycle Cost in Circular Economy of Buildings by Applying Building Information Modeling (BIM): A State of the Art. In *Buildings* (Vol. 13, Issue 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/buildings13071858>
- Altaf, M., Alaloul, W. S., Musarat, M. A., Bukhari, H., Saad, S., & Ammad, S. (2020, November 11). BIM Implication of Life Cycle Cost Analysis in Construction Project: A Systematic Review. *2020 2nd International Sustainability and Resilience Conference: Technology and Innovation in Building Designs*. <https://doi.org/10.1109/IEEE-CONF51154.2020.9319970>
- Baas, J., Schotten, M., Plume, A., Côté, G., & Karimi, R. (2020). Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 377–386. https://doi.org/10.1162/qss_a_00019
- Chen, X., Chen, J., Wu, D., Xie, Y., & Li, J. (2016). Mapping the Research Trends by Co-word Analysis Based on Keywords from Funded Project. *Procedia Computer Science*, 91, 547–555. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.140>
- Cooper, H. (2016). *Research Synthesis and Meta-Analysis Fifth Edition*.
- Daniotti, B., Masera, G., Bolognesi, C. M., Spagnolo, S. L., Pavan, A., Iannaccone, G., Signorini, M., Ciuffreda, S., Mirarchi, C., Lucky, M., & Cucuzza, M. (2022). The Development of a BIM-Based Interoperable Toolkit for Efficient Renovation in Buildings: From BIM to Digital Twin. *Buildings*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/buildings12020231>
- Du, L., Wang, Z., Huang, H.-Z., Lu, C., & Miao, Q. (2009). Life cycle cost analysis for design optimization under uncertainty. *Proceedings of 2009 8th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety, ICRMS 2009*, 54–57. <https://doi.org/10.1109/ICRMS.2009.5270241>
- Fan, J., Gao, Y., Zhao, N., Dai, R., Zhang, H., Feng, X., Shi, G., Tian, J., Chen, C., Hambly, B. D., & Bao, S. (2020). Bibliometric Analysis on COVID-19: A Comparison of Research Between English and Chinese Studies. *Frontiers in Public Health*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00477>
- Goretti, H. A., & Kaming, P. F. (2023). *KoNTekS Ke-17 Balikpapan*.
- Hosamo, H. H., Nielsen, H. K., Alnmr, A. N., Svennevig, P. R., & Svidt, K. (2022). A review of the Digital Twin technology for fault detection in buildings. In *Frontiers in Built Environment* (Vol. 8). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.1013196>
- Kehily, D., & Underwood, J. (2017). Embedding life cycle costing in 5D BIM. In *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)* (Vol. 22, pp. 145–167). <http://www.itcon.org/2017/8>
- Khodabakhshian, A., & Toosi, H. (2021). Residential Real Estate Valuation Framework Based on Life Cycle Cost by Building Information Modeling. *Journal of Architectural Engineering*,

- 27(3). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ae.1943-5568.0000479](https://doi.org/10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000479)
- Likhitrungsilp, V., T Le, H. T., Yabuki, N., & Ioannou, P. G. (2019). *Interdependence between Structural Engineering and Construction Management Edited by Ozevin Integrating Building Information Modeling And Visual Programming For Building Life-Cycle Cost Analysis*.
- Meinen, H., Kock, K., & Hübner, R. (2024). BIM and facility management in the chemical and pharmaceutical industry | BIM im Facility Management der Chemie- und Pharmaindustrie. *Bauingenieur*, 99(5), 165–171. <https://doi.org/10.37544/0005-6650-2024-05-59>
- Mohammed, A. B. (2023). Process Map for Accessing Automatization of Life Cycle Assessment Utilizing Building Information Modeling. *Journal of Architectural Engineering*, 29(3). <https://doi.org/10.1061/JAEIED.AEENG-1449>
- Monica, B. (2015). *Model-Driven Management Of Construction Carbon Footprint*.
- Moradabadi, B., Noorzai, E., & Abbasi, S. (2024). BIM-based optimization approach to reduce life cycle costs by focusing on the integration of construction and operation phases in office-commercial buildings. *Journal of Building Engineering*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111126>
- Purnomo, C. C., Hutabarat, L. E., Putri, R., & Gultom, W. (2022). Kajian Tingkat Implementasi Dan Hambatan Penggunaan Building Information Modelling (BIM). *Oktober*, 3(2), 68–76.
- Sathe, A. A., & Pimplikar, S. S. (2021). Use of BIM for Study of Life Cycle Cost Analysis of Residential Complex. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 87). https://doi.org/10.1007/978-981-15-6463-5_35
- Shibata, N., Sierra, F., & Hagrass, A. (2023). Integration of LCA and LCCA through BIM for optimized decision-making when switching from gas to electricity services in dwellings. *Energy and Buildings*, 288. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113000>
- Sinoh, S. S., Ibrahim, Z., & Ahmad, A. D. B. (2024). Building information modelling (BIM) application at early design stages with consideration of LCA and LCCA. *AIP Conference Proceedings*, 2934(1). <https://doi.org/10.1063/5.0180604>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Yang, X., Hu, M., Wu, J., & Zhao, B. (2018). Building-information-modeling enabled life cycle assessment, a case study on carbon footprint accounting for a residential building in China. *Journal of Cleaner Production*, 183, 729–743. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.070>