

Evaluasi Siklus Hidup Bangunan Ramah Lingkungan Dalam Mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan

Dian Laras Wati¹⁾, Oei Fuk Jin²⁾

^{1, 2)} Universitas Tarumanagara dan Jl. Letjen S. Parman No.1, Jakarta Barat

Email: watidianlaras@gmail.com ¹⁾, fukjin.untar@gmail.com ²⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v14i2.1121>

(Received: 24 May 2024 / Revised: 01 July 2024 / Accepted: 24 August 2024)

Abstrak

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi kontribusi bangunan ramah lingkungan dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable development goals/SDGs*) melalui analisis siklus hidupnya. Dengan latar belakang pentingnya bangunan ramah lingkungan dalam mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan efisiensi sumber daya, penelitian ini menggunakan metode tinjauan sistematik literatur untuk mengumpulkan dan menganalisis makalah terkait bangunan ramah lingkungan, penilaian siklus hidup proyek, dan aspek keberlanjutan. Hasil analisis menunjukkan bahwa bangunan ramah lingkungan mampu mengurangi emisi karbon, mengoptimalkan penggunaan energi, dan memberikan manfaat ekonomi jangka panjang. Dengan demikian, implementasi bangunan ramah lingkungan dapat berperan penting dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan melalui integrasi aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial.

Kata kunci: *Bangunan ramah lingkungan, penilaian siklus hidup, dampak lingkungan, dampak ekonomi, pembangunan berkelanjutan*

Abstract

This study aims to evaluate the contribution of environmentally friendly buildings to achieving Sustainable Development Goals (SDGs) through life cycle analysis. Given the crucial role of environmentally friendly buildings in reducing environmental impact and enhancing resource efficiency, this research employs a systematic literature review method to gather and analyze papers related to environmentally friendly buildings, project life cycle assessment, and sustainability aspects. The analysis results indicate that environmentally friendly buildings can reduce carbon emissions, optimize energy use, and provide long-term economic benefits. Thus, the implementation of environmentally friendly buildings can play a significant role in achieving sustainable development goals through the integration of environmental, economic, and social aspects.

Keywords: *Green building, life cycle assessment, environmental impact, economic impact, sustainable development*

1. Latar Belakang

Konsep bangunan ramah lingkungan telah diperkenalkan sebagai cara untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh bangunan selama penggunaannya (Nguyen and Macchion, 2023). Bangunan yang memperhatikan lingkungan dikatakan juga sebagai bangunan berkelanjutan secara iklim (Wu *et al.*,

2015), menggunakan teknologi yang tepat untuk mengurangi konsumsi energi dan menggunakan bahan konstruksi daur ulang yang tersedia secara lokal untuk mencapai biaya terendah (Zhao *et al.*, 2019; Kibert, 2012). Bangunan ini memiliki nilai komersial yang lebih tinggi dibandingkan dengan bangunan konvensional (Hwang, Zhao and Yu, 2016), karena menghasilkan emisi karbon yang rendah, menghemat energi, dan memberikan manfaat ekonomi maksimal selama siklus hidupnya (Wu *et al.*, 2024; Qin, Mo and Jing, 2016; Koc *et al.*, 2023). Selain itu, renovasi bangunan dengan pendekatan yang ramah lingkungan juga dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam hal efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon dioksida (Lin, Li & Cheung, 2023)

Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*) yang disepakati oleh para pemimpin dunia dalam Perserikatan Bangsa-bangsa (PBB) memberikan tantangan untuk memisahkan pertumbuhan ekonomi dari perubahan iklim, kemiskinan, dan kesenjangan sosial (Wu *et al.*, 2021; Darko & Chan, 2016). Peningkatan gas rumah kaca akibat aktivitas manusia semakin memperlebar kesenjangan antara emisi aktual dan tujuan pengendalian pemanasan global (Yang *et al.*, 2016; Yang and Zou, 2014). Di Australia dan Selandia Baru menunjukkan bahwa bangunan ramah lingkungan mengeluarkan 33% gas rumah kaca, mengkonsumsi 33% listrik dan air, dan mendaur ulang sekitar 96% limbah bongkaran (economic, 2014; Jagarajan *et al.*, 2017)), sedangkan bangunan komersial dan perumahan konvensional secara global mengkonsumsi 40% energi dan emisi gas rumah kaca (shanmugam *et al.*, 2018; Zhu *et al.*, 2013). Dengan menganalisis seluruh siklus hidup bangunan ramah lingkungan mulai dari tahap perencanaan, konstruksi, pemeliharaan, dan pembongkaran (Xia *et al.*, 2018), sehingga dapat memberikan peluang untuk mengurangi jejak lingkungan, meningkatkan efisiensi sumber daya, dan memperhitungkan dampak jangka Panjang dari keputusan desain dan konstruksi (Qin *et al.*, 2016; Gan *et al.*, 2015). (Ahmad, Aibinu and Stephan, 2019).

Life cycle assesement (LCA) adalah metode yang telah terstandarisasi untuk mengevaluasi secara menyeluruh dampak lingkungan dari suatu proyek dan pengarangnya terhadap aspek sosial (Alaloul *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2022). Konsekuensi yang ditimbulkan sepanjang umur proyek dari berbagai aspek seperti perolehan material, konstruksi, pengoperasian dan pemeliharaan, pembuangan, dan akhirnya peratwan akhir masa pakai juga ikut dipertimbangkan (Chen and Wang, 2018; Santos *et al.*, 2018). Penilaian LCA disebut sebagai pendekatan “*cradle-to-grave*” yang terdiri dari empat Langkah utama yaitu tujuan dan ruang lingkup, *life cycle inventory* (LCI), *life cycle impact assessment* (LCIA), dan interpretasi (ISO 1404, 2006).

Untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), kebijakan dan tindakan terhadap penilaian siklus hidup pada bangunan ramah lingkungan harus dinilai secara cermat. Evaluasi LCA menyediakan data yang diperlukan untuk mengukur penilaian lingkungan yang komprehensif, oleh karena itu, tujuan dari tinjauan ini adalah untuk menyajikan gambaran umum LCA yang digunakan dalam rekayasa dan manajemen konstruksi berkelanjutan dengan metode *systematic literature review* diharapkan dapat menunjukkan dampak terhadap ekonomi, sosial, dan lingkungan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode tinjauan sistematik literatur, dalam metode ini secara teratur menanamkan informasi umum (seperti judul penelitian, penulisan, dan informasi publikasi), konteks penelitian, metodologi, dan topik yang muncul ditambah dengan detail sintesis. tinjauan sistematik literatur dapat diterapkan dalam bidang konstruksi, pembelajaran, kewirausahaan, dan *lean management*. Dalam penelitian ini, terdapat 3 tahap yang dilakukan pada proses tinjauan sistematik literatur.

2.1 Perencanaan dan Pencarian

Tahap pertama ini melibatkan perencanaan dan pencarian makalah terkait bangunan ramah lingkungan. Perencanaan tinjauan sistematik literatur terdiri dari membuat kata kunci penelitian dan protokol penelitian. Makalah rel-evant yang diterbitkan dalam bahasa inggris diperoleh dengan mencari di basis data ilmiah. Makalah diidentifikasi menggunakan aplikasi *publish or perish*, basis data pencarian yang digunakan adalah *Scopus* karena dianggap memiliki jangkauan penerbitan ilmiah yang lebih luas, akan tetapi penggunaan basis data dari *Scopus* terbatas pada jumlah dokumen maksimal 200 makalah, terdiri dari berbagai jenis makalah, ulasan, dan konferensi ilmiah.

Aturan pencarian yang dilakukan dalam judul/abstrak/kata kunci dalam basis data adalah “*green construction*” OR “*economic impact*” OR “*social impact*” OR “*environment impact*” AND “*life cycle assessment*”. Ruang lingkup pencarian dibatasi pada 10 tahun terakhir yaitu 2014 sampai dengan 2024, hasil pencarian ini didapatkan 64 makalah yang terdiri dari 48 makalah penelitian, 12 prosiding konferensi, dan 4 *book chapter*, kemudian yang dipilih hanya terbatas pada makalah penelitian. Dari 48 makalah yang didapatkan dilanjutkan dengan melakukan pemeriksaan visual.

2.2 Pemeriksaan Visual

Pada tahap ini berkaitan dengan pemeriksaan terhadap abstrak, kata kunci, dan hasil penelitian yang dianggap relevan dengan topik yang akan dibahas. Selain itu juga dilakukan penghapusan makalah yang tidak relevan dengan pengecualian diilustrasikan pada table 1.

Tabel 1 Kriteria inklusi dan eksklusi

	Inklusi / eksklusi	Rasionalisasi
1. Pemilihan Jurnal	<ul style="list-style-type: none">• Review dilakukan pada makalah berbahasa inggris• Jurnal berasal dari Scopus• Jurnal termasuk dalam scope topik bangunan ramah lingkungan dan melakukan analisis siklus hidup proyek	<ul style="list-style-type: none">• Karena topik masih dalam pengembangan, maka jumlah penelitian masih terbatas• Kriteria ini memastikan untuk mengetahui setiap penelitian sebelumnya mengenai topik ini• Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi jurnal-jurnal yang dapat dipercaya mengenai topik-topik berbeda dengan nilai akreditasi jurnal yang tinggi pada penelitian di bidang kontruksi pada bangunan ramah lingkungan

2. Pemilihan jangka waktu	<ul style="list-style-type: none"> • Makalah diterbitkan pada tahun 2014 - 2024 	<ul style="list-style-type: none"> • Jangka waktu tersebut untuk mendapatkan pembaharuan dari penelitian dari topik yang dibahas
3. Pemilihan makalah	<ul style="list-style-type: none"> • Pencarian berdasarkan kata kunci, abstrak, dan hasil penelitian • Eksklusi kriteria: makalah yang tidak focus pada bangunan ramah lingkungan 	<ul style="list-style-type: none"> • Karena penelitian terhadap penilaian siklus hidup proyek relatif baru, maka dianggap cukup menggunakan kata kunci untuk menangkap setiap studi tentang topik ini

Pada tahap ini dilakukan langkah sebagai berikut: pertama, membaca judul, kata kunci, dan abstrak untuk mengecualikan makalah yang tidak terkait dengan bangunan ramah lingkungan dan *life cycle assesment* (LCA). Kedua, isi makalah yang tersisa diperiksa untuk memilih makalah yang paling sesuai dengan topik pembahasan, makalah akan dikecualikan karena alasan: tidak mempertimbangkan LCA pada proyek bangunan ramah lingkungan atau jurnal tidak terindeks *Scopus* Q1 – Q4 atau dokumen termasuk dalam prosiding konferensi. Ketiga, dilakukan analisis isi makalah.

2.3 Analisis Isi Makalah

Analisis isi makalah yang sudah dilakukan pemeriksaan dengan mengidentifikasi fokus materi dan menemukan pola yang muncul dalam literatur bangunan ramah lingkungan saat ini. Proses ini memiliki 2 bagian yaitu analisis deskriptif dan analisis tematik (Xia *et al.*, 2018).

Pada bagian analisis deskriptif, dilakukan dengan mendeteksi dan mengatur informasi yang diperlukan sesuai dengan fitur seperti “tahun publikasi”, “penulis”, “metodelogi penelitian”. Selama proses ini, dibuatkan kode initial untuk pemilihan isi makalah yang ditinjau. Kode initial pada tabel 2 disesuaikan dengan makalah yang telah didapatkan dan berdasarkan pembahasan yang akan dilakukan (Xia *et al.*, 2018).

Tabel 2 Kode intial analisis isi makalah

No	Kode	Deskripsi
1	Tahun	Tahun publikasi
2	Judul makalah	Judul makalah
3	Nama jurnal	Publikasi
4	Indeks Jurnal	Berdasarkan indeks jurnal Scopus (Q1-Q4)
5	Metode penelitian	<i>Life cycle assesment</i> (LCA)
6	Siklus hidup proyek	Tahap desain, konstruksi, pemeliharaan, operasional
7	Hasil penelitian	Dampak lingkungan, ekonomi, dan dampak sosial

Pada bagian analisis tematik, dilakukan penyelidikan mendalam terhadap konten makalah yang dikumpulkan. Dengan demikian, analisis dapat menemukan tema dan metodelogi yang digunakan dalam makalah bangunan ramah lingkungan. Langkah ini bertujuan untuk menyajikan evaluasi *Life cycle assesment* (LCA) pada bangunan ramah lingkungan yang digunakan dalam rekayasa dan manajemen konstruksi berkelanjutan.

(Goh, Su and Rowlinson, 2023). Hal ini menandakan adanya potensi untuk penelitian lanjutan guna mengisi kesenjangan pengetahuan yang teridentifikasi.

Pada analisis ini terbentuk tujuh kelompok yang menunjukkan keterkaitan diantara kata kunci pada makalah yang sudah didapatkan. Kemudian dilakukan pemilihan kata kunci yang berkaitan dengan topik penelitian yaitu sebagai berikut: kelompok pertama disusun berdasarkan istilah pemeliharaann, penilaian siklus hidup, dan pemanasan global. Kelompok kedua terdiri dari istilah bangunan hijau, *literature review*, energi, bangunan konvensional. Selanjutnya, kelompok ketiga terdiri dari efisiensi ekonomi, dampak lingkungan. Kelompok keempat terdiri dari ekonomi berkelanjutan, studi kasus. Kelompok kelima terdiri dari konstruksi, dan keberlanjutan

Dari hasil analisis VOSviewer terlihat bahwa istilah penilaian siklus hidup, bangunan hijau dan dampak ekonomi berada pada kelompok yang berbeda dengan ukuran node yang kecil. Hal ini menunjukkan bahwa belum dilakukan penelitian secara mendalam terkait dengan evaluasi siklus hidup proyek bangunan hijau dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan penelitian secara mendalam guna mengisi kesenjangan terhadap penelitian pada bangunan ramah lingkungan ini.

3.2 Evaluasi Penilaian Siklus Hidup Proyek

Penerapan *life cycle analysis* (LCA) pada bidang teknik sipil sudah dilakukan pada bangunan perumahan dan komersial, dan infrastruktur, namun metode LCA ini terbatas pada evaluasi terhadap dampak lingkungan (Srivastava, Raniga and Misra, 2022), sehingga untuk melakukan evaluasi terhadap biaya setiap siklus dan analisis untuk meminimalkan total biaya dan dampak lingkungan perlu dilakukan kombinasi metode lainnya terkait dengan evaluasi biaya terhadap dampak lingkungan disetiap siklusnya. Pada beberapa penelitian dilakukan evaluasi biaya dengan metode yang berbeda diantaranya metode *life cycle design* (LCD), metode ini mempertimbangkan kinerja struktur, umur layanan, serta efisiensi ekonomi, dan tujuan ramah lingkungan (Wang *et al.*, 2018). Metode *Cost-benefit analysis* (CBA) digunakan untuk mengevaluasi keberlanjutan ekonomi dengan mempertimbangkan peran pemangku kepentingan (Wu *et al.*, 2024). Dan metode *life cycle cost analysis* (LCCA) yang mempertimbangkan siklus hidup pemeliharaan dan perbaikan (M&R).

Pada evaluasi siklus hidup bangunan ramah lingkungan yang sudah dilakukan pada beberapa jenis bangunan ramah lingkungan hanya mempertimbangkan dampak lingkungan dan dampak ekonomi, sedangkan dalam aspek tujuan keberlanjutan terdapat dampak sosial yang perlu dipertimbangkan dalam setiap proyek bangunan ramah lingkungan.

3.3. Dampak Lingkungan

Proyek perkerasan fleksibel ramah lingkungan memanfaatkan material daur ulang seperti perkerasan aspal daur ulang (RAP) sebanyak 42% dan sirap aspal daur ulang (RAS) 6% untuk menggantikan pengikat aspal murni dan campuran agregat sebagai salah satu teknik berkelanjutan. Hasilnya menunjukkan penurunan energi 80% dan 78% potensi pemanasan global (GWP) dengan peningkatan konten daur

ulang, yang menunjukkan tren manfaat berkelanjutan (Yang *et al.*, 2015). Selain itu, unit fungsional dalam penggunaan material ini berupa hamparan aspal berukuran 4 inci sepanjang empat jalur mil yang diperkirakan akan bertahan selama 15 tahun dan dapat memberikan pengurangan dampak lingkungan yang lebih tinggi, sehingga berkontribusi terhadap metrik keberlanjutan trotoar secara keseluruhan. Jika dibandingkan dengan penelitian Araújo, Oliveira and Silva, 2014 dengan material yang sama dapat mengurangi konsumsi energi 3% dan emisi gas sebesar 14%

Sistem infrastruktur *grey-green* mencakup penggunaan teknologi dan desain yang terhubung untuk pengendalian aliran air hujan pada taman kota dan ruang terbuka hijau di perkotaan dan perumahan. Dampak lingkungan terbesar pada kategori tengah meliputi pemanasan global, pembentukan partikulat, pengurangan bahan bakar fosil, karsinogen, non-karsinogen, penurunan air tanah, dan penipisan logam. Infrastruktur *grey-green* memiliki dampak terhadap perubahan iklim sekitar 1.23×10^6 kgCO₂, karena konsumsi material yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem konvensional (Xu *et al.*, 2021). Namun, pada tahap operasional sistem ini dapat memberikan manfaat lingkungan signifikan untuk pengendalian volume aliran dan pengurangan polusi, serta memberikan manfaat lingkungan pada eutrofikasi air tawar, non karsinogen, ekotoksitas air, eutrofikasi air laut, dan penurunan air tanah.

Evaluasi desain struktur beton bertulang ramah lingkungan memberikan dampak lingkungan tingkat lokal terhadap limbah padat, emisi sulfur dioksida (SO₂), dan emisi nitrogen dioksida (NO₂) yang lebih rendah dibandingkan dengan konvensional, namun dengan energi yang terkandung sama. Desain beton ramah lingkungan yang digunakan mengandung campuran Fly Ash 30%, dan *full coverage epoxy coated reinforcement* yang membedakan dengan beton konvensional. Sementara itu, dampak lingkungan secara global memiliki potensi pemanasan global dan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah (Wang *et al.*, 2018).

3.4. Dampak Ekonomi

Perkerasan fleksibel ramah lingkungan menghasilkan biaya paling tinggi pada siklus operasional sebesar 1.858.589 USD/ton, jika dibandingkan dengan biaya konstruksi hanya sebesar 490 USD/ton, hal ini dikarenakan dampak dari emisi karbon dari kendaraan yang menjadi pertimbangan. Dalam penggunaan perkerasan fleksibel ramah lingkungan dapat menghasilkan biaya investasi 35 USD/pertahun. Namun penggunaan material ramah lingkungan untuk perkerasan fleksibel masih kurang diminati oleh pemangku kepentingan, sehingga masih sedikit dilakukan.

Dalam pembangunan sistem infrastruktur *grey-green* biaya dan manfaat ekonomi eksternal memberikan pengaruh yang besar terhadap total analisis biaya dan manfaat ekonomi, terutama untuk biaya dan manfaat restorasi ekologi. Subsidi keuangan pemerintah memainkan peran penting dalam kinerja perekonomian sehingga waktu pengembalian biaya investasi akan lebih cepat (Xu *et al.*, 2021). Nilai investasi sistem infrastruktur *grey-green* memberikan hasil yang sama dengan analisis biaya pada tahap konstruksi taman hujan bio-infiltrasi (Flynn and Traver, 2013) dan LID-BMP (Xu *et al.*, 2017) adalah sekitar $1,01 \times 10^6$ RMB/ha-IDA dan

8,5 × 105 RMB/ha-IDA. Hasil ini menunjukkan bahwa pembangunan sistem infrastruktur *grey-green* sebanding dengan infrastruktur hijau lainnya.

Pada kompleks komersial, keberlanjutan ekonomi VGS dapat ditingkatkan secara signifikan dengan mengurangi biaya instalasi dan GRS dengan mengurangi biaya awal, yang dapat diwujudkan melalui pengurangan pajak. Selain itu, pengurangan pajak hanya memberikan kontribusi yang signifikan terhadap GRS, yang menegaskan fenomena yang disebutkan oleh Libralesso dalam kesimpulannya bahwa sebagian besar kebijakan insentif fokus pada promosi atap hijau, karena tidak ditemukan kebijakan insentif eksklusif untuk promosi dinding hijau (Libralesso *et al.*, 2020). Selain itu, promosi penghijauan bangunan akan mengurangi berbagai biaya dengan memanfaatkan skala ekonomi dalam beberapa tahun ke depan (Wu *et al.*, 2024)

Evaluasi terhadap dampak ekonomi pada desain struktur beton bertulang ramah lingkungan dapat mengurangi biaya desain sekitar 70-80% dan biaya tahunan rata-rata 5-7% dan biaya total siklus hidup pada tahap desain dan tahap restorasi struktur dapat memberikan dampak ekonomi langsung dan tidak langsung tergantung dengan kondisi kerusakan struktur dan metode restorasi yang digunakan., misalnya penggunaan balok pracetak dalam restorasi dapat mempersingkat waktu tidak beroperasinya struktur jika dibandingkan dengan pengecoran ditempat (Wang *et al.*, 2018).

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Penerapan teknologi dan desain berkelanjutan dalam infrastruktur, seperti perkerasan fleksibel ramah lingkungan, sistem infrastruktur *grey-green*, dan desain struktur beton bertulang ramah lingkungan, memiliki dampak yang signifikan dalam mengurangi jejak lingkungan dan meningkatkan keberlanjutan. Proyek perkerasan fleksibel ramah lingkungan menunjukkan bahwa penggunaan material daur ulang seperti RAP dan RAS dapat menghasilkan penurunan yang signifikan dalam konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca, dengan hasil yang menunjukkan tren manfaat berkelanjutan. Sementara itu, sistem infrastruktur *grey-green*, meskipun memiliki dampak pada perubahan iklim karena konsumsi material yang lebih tinggi, memberikan manfaat signifikan pada pengendalian volume aliran air dan pengurangan polusi, serta berkontribusi pada pencapaian SDG terkait dengan kualitas air dan lingkungan. Evaluasi desain struktur beton bertulang ramah lingkungan juga menunjukkan potensi untuk mengurangi dampak lingkungan, terutama dalam hal limbah padat dan emisi gas, dengan menjaga efisiensi energi yang tetap tinggi. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa investasi dalam infrastruktur ramah lingkungan memiliki dampak positif yang signifikan pada pertumbuhan ekonomi dan pengembangan infrastruktur yang berkelanjutan. Dengan mempertimbangkan keuntungan ekonomi dan lingkungan, serta memaksimalkan penggunaan teknologi dan desain berkelanjutan, dapat diharapkan bahwa implementasi proyek-proyek ini akan membawa manfaat yang lebih besar bagi lingkungan dan masyarakat secara keseluruhan.

4.2 Saran

Disarankan perlu penerapan teknologi dan desain berkelanjutan dalam infrastruktur, seperti perkerasan fleksibel ramah lingkungan, sistem infrastruktur *grey-green*, dan desain struktur beton bertulang ramah lingkungan, karena memiliki dampak yang signifikan dalam mengurangi jejak lingkungan dan meningkatkan keberlanjutan. Proyek perkerasan fleksibel ramah lingkungan disarankan untuk menggunakan material daur ulang seperti RAP dan RAS yang dapat menghasilkan penurunan yang signifikan dalam konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca, dengan hasil yang menunjukkan tren manfaat berkelanjutan.

Daftar Kepustakaan

- Ahmad, T., Aibinu, A.A. and Stephan, A. (2019) 'Managing green building development – A review of current state of research and future directions', *Building and Environment*, 155(March), pp. 83–104. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.034>.
- Alaloul, W.S. *et al.* (2021) 'Systematic review of life cycle assessment and life cycle cost analysis for pavement and a case study', *Sustainability (Switzerland)*, 13(8), pp. 1–38. Available at: <https://doi.org/10.3390/su13084377>.
- Araújo, J.P.C., Oliveira, J.R.M. and Silva, H.M.R.D. (2014) 'The importance of the use phase on the LCA of environmentally friendly solutions for asphalt road pavements', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 32, pp. 97–110. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.07.006>.
- Benoît, C., Norris, G.A., Valdivia, S., Ciroth, A., Moberg, A., Bos, U., Prakash, S., Ugaya, C., Beck, T. (2010) 'The Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products: Just in Time!', *International Journal Life Cycle Assessment*, 15, 156–163.
- Chen, X. and Wang, H. (2018) 'Life cycle assessment of asphalt pavement recycling for greenhouse gas emission with temporal aspect', *Journal of Cleaner Production*, 187, pp. 148–157. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.207>.
- Darko, A. and Chan, A.P.C. (2016) 'Critical analysis of green building research trend in construction journals', *Habitat International*, 57, pp. 53–63. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.07.001>.
- Economics, B. C. I. (2014). 'Green Building Market Report Australia/New Zealand 2014'. Australia: *BCI Economics*.
- Flynn, K.M. and Traver, R.G. (2013) 'Green infrastructure life cycle assessment: A bio-infiltration case study', *Ecological Engineering*, 55, pp. 9–22. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.004>.
- Gan, X. *et al.* (2015) 'Why sustainable construction? Why not? An owner's perspective', *Habitat International*, 47, pp. 61–68. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.01.005>.

- Goh, C.S., Su, F. and Rowlinson, S. (2023) 'Exploring Economic Impacts of Sustainable Construction Projects on Stakeholders: The Role of Integrated Project Delivery', *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, 15(3), pp. 1–9. Available at: <https://doi.org/10.1061/jladah.ladr-963>.
- Hwang, B.G., Zhao, X. and Yu, G.S. (2016) 'Risk identification and allocation in underground rail construction joint ventures: contractors' perspective', *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(6), pp. 758–767. Available at: <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.914095>.
- ISO (International Organization for Standardization) 14040, (2006) 'Environmental Management-Life Cycle Assessment-General Principles and Framework' ISO 14040, Geneva, Switzerland.
- Jagarajan, R. *et al.* (2017) 'Green retrofitting – A review of current status, implementations and challenges', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67(September 2015), pp. 1360–1368. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.091>.
- Koc, K., Kunkcu, H. and Gurgun, A.P. (2023) 'A Life Cycle Risk Management Framework for Green Building Project Stakeholders', *Journal of Management in Engineering*, 39(4). Available at: <https://doi.org/10.1061/jmenea.meeng-5361>.
- Liberalesso, T. *et al.* (2020) 'Green infrastructure and public policies: An international review of green roofs and green walls incentives', *Land Use Policy*, 96(June 2019), p. 104693. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104693>.
- Lin, S., Li, K. and Cheung, S. (2023) 'Managing Disputes for a Sustainable Construction: A Perspective of Settlement Facilitating Elements in Negotiations', *Buildings*, 13(10). Available at: <https://doi.org/10.3390/buildings13102578>.
- Liu, T. *et al.* (2022) 'Sustainability Considerations of Green Buildings: A Detailed Overview on Current Advancements and Future Considerations', *Sustainability (Switzerland)*, 14(21), pp. 1–23. Available at: <https://doi.org/10.3390/su142114393>.
- Musarat, M.A. *et al.* (2021) 'The effect of inflation rate on CO2 emission: A framework for malaysian construction industry', *Sustainability (Switzerland)*, 13(3), pp. 1–16. Available at: <https://doi.org/10.3390/su13031562>.
- Nguyen, H.D. and Macchion, L. (2023) 'Risk management in green building: a review of the current state of research and future directions', *Environment, Development and Sustainability*, 25(3), pp. 2136–2172. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02168-y>.
- Qin, X., Mo, Y. and Jing, L. (2016) 'Risk perceptions of the life-cycle of green buildings in China', *Journal of Cleaner Production*, 126, pp. 148–158. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.103>.
- Santos, J. *et al.* (2018) 'Life cycle assessment of low temperature asphalt mixtures for road pavement surfaces: A comparative analysis', *Resources, Conservation and Recycling*, 138(July), pp. 283–297. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.012>.

- Shanmugam, S., C. Sun, X. Zeng, and Y.-R. Wu. (2018) 'High-efficient Production of Biobutanol by a Novel Clostridium sp. Strain wst with Uncontrolled ph Strategy', *Bioresource Technology*. doi:10.1016/j.biortech.2018.02.077.
- Srivastava, S., Raniga, U.I. and Misra, S. (2022) 'A Methodological Framework for Life Cycle Sustainability Assessment of Construction Projects Incorporating TBL and Decoupling Principles', *Sustainability (Switzerland)*, 14(1), pp. 1–52. Available at: <https://doi.org/10.3390/su14010197>.
- Wang, Z. *et al.* (2018) 'Hierarchical life-cycle design of reinforced concrete structures incorporating durability, economic efficiency and green objectives', *Engineering Structures*, 157(April 2017), pp. 119–131. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.11.022>.
- Wu, P. *et al.* (2015) 'A review of benchmarking in carbon labelling schemes for building materials', *Journal of Cleaner Production*, 109, pp. 108–117. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.067>.
- Wu, Y. *et al.* (2024) 'Evaluating the economic sustainability of commercial complex greening based on cost-benefit analysis: A case study of Singapore's Shaw center', *Ecological Indicators*, 161(September 2023), p. 111890. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111890>.
- Wu, Z. *et al.* (2021) 'A topical network based analysis and visualization of global research trends on green building from 1990 to 2020', *Journal of Cleaner Production*, 320(March), p. 128818. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128818>.
- Xia, N. *et al.* (2018) 'Towards integrating construction risk management and stakeholder management: A systematic literature review and future research agendas', *International Journal of Project Management*, 36(5), pp. 701–715. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2018.03.006>.
- Xu, C. *et al.* (2017) 'Life cycle environmental and economic assessment of a LID-BMP treatment train system: A case study in China', *Journal of Cleaner Production*, 149, pp. 227–237. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.086>.
- Xu, C. *et al.* (2021) 'Environmental and economic benefit comparison between coupled grey-green infrastructure system and traditional grey one through a life cycle perspective', *Resources, Conservation and Recycling*, 174, p. 105804. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105804>.
- Yang, R. *et al.* (2015) 'Environmental and economic analyses of recycled asphalt concrete mixtures based on material production and potential performance', *Resources, Conservation and Recycling*, 104, pp. 141–151. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.08.014>.
- Yang, R.J. and Zou, P.X.W. (2014) 'Stakeholder-associated risks and their interactions in complex green building projects: A social network model', *Building and Environment*, 73, pp. 208–222. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.12.014>.
- Yang, R.J., Zou, P.X.W. and Wang, J. (2016) 'Modelling stakeholder-associated risk networks in green building projects', *International Journal of Project Management*, 34(1), pp. 66–81. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.09.010>.

- Zhao, X. *et al.* (2019) 'A bibliometric review of green building research 2000–2016', *Architectural Science Review*, 62(1), pp. 74–88. Available at: <https://doi.org/10.1080/00038628.2018.1485548>.
- Zhu, J. *et al.* (2013) 'Optimization method for building envelope design to minimize carbon emissions of building operational energy consumption using orthogonal experimental design (OED)', *Habitat International*, 37, pp. 148–154. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2011.12.006>.