

Application of Tekla Structures Designer in Life Cycle Analysis to Measure Embodied Carbon in Steel Buildings

Cyntha Tendean^{1*}, Fardi Kalumata², Ahmad Yani Abbas³, I Putu Suartana⁴

^{1,2,3}Politeknik Negeri Manado

⁴Universitas Tompotika Luwuk

Corresponding Author: Cyntha Tendean cynthatendean@gmail.com

ARTICLE INFO

Kata Kunci: Embodied Carbon, Embodied Carbon Mass, Tekla Struktur Desainer

Received : 3 February

Revised : 20 March

Accepted: 18 April

©2025 Tendean, Kalumata, Abbas, Suartana: This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



ABSTRACT

The worsening climate change puts the survival of humans on this planet and life on it in significant danger. As one of the largest contributors of greenhouse gas emissions, the construction sector has a huge responsibility to reduce its carbon footprint. Issues related to the topic, objectives, and benefits of the study Energy-intensive steel production and high carbon emissions are the main reasons why steel has become a popular construction material. Carbon emission analysis is an important part of life cycle analysis, which allows us to calculate the total carbon emissions associated with a product throughout its life cycle. Tekla Structure Designer software allows for more accurate and efficient analysis. This software can be used to model steel structures, calculate the amount of material used, and even perform energy analysis.

5. RESEARCH METHODS

1. Literature Study

- Conduct an in-depth review of the literature related to the concept of embodied carbon, life cycle analysis (LCA), and the application of Tekla Structure Designer software in steel structure analysis.
- Identify common methods used in calculating embodied carbon in steel materials.
- Collecting embodied carbon data from various sources, such as the EPD (Environmental Product Declaration) database and scientific literature.

2. Case Study

- The case study used in this study is a building using 5 (five) floors of steel material. The results of the analysis show that the Embodied Carbon Overview by Level on floors 1 to 5 is 143,775 kgCO_{2e}, the value of Embodied Carbon Overview by Construction Type Steel Beams Rolled Non-Composite 372,217 kgCO_{2e}, Composite Slabs 212,515 kgCO_{2e}, Steel Columns Rolled 134142 kgCO_{2e} so that the total Embodied Carbon Overview by Level is 718,874 kgCO_{2e}

Penerapan Tekla Structures Desainer dalam Analisis Siklus Hidup untuk Mengukur Embodied Carbon pada Bangunan Baja

Cyntha Tendean^{1*}, Fardi Kalumata², Ahmad Yani Abbas³, I Putu Suartana⁴

^{1,2,3}Politeknik Negeri Manado

⁴Universitas Tompotika Luwuk

Corresponding Author: Cyntha Tendean cynthatendean@gmail.com

ARTICLE INFO

Kata Kunci: Embodied Carbon, Embodied Carbon Mass, Tekla Structur Desainer

Received : 3 February

Revised : 20 March

Accepted: 18 April

©2025 Tendean, Kalumata, Abbas, Suartana: This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



ABSTRAK

Perubahan iklim yang semakin parah menempatkan keberlangsungan hidup manusia di planet ini dan kehidupan di atasnya dalam bahaya yang signifikan. Sebagai salah satu penyumbang emisi gas rumah kaca terbesar, sektor konstruksi memiliki tanggung jawab besar untuk mengurangi jejak karbonnya. Isu-isu terkait dengan topik, tujuan, dan manfaat penelitian Produksi baja yang intensif energi dan menghasilkan emisi karbon tinggi adalah masalah utama mengapa baja menjadi material konstruksi yang populer. Analisis emisi karbon merupakan bagian penting dari analisis siklus hidup, yang memungkinkan kita untuk menghitung emisi karbon total yang terkait dengan suatu produk sepanjang siklus hidupnya. Software Tekla Structure Designer, memungkinkan analisis yang lebih akurat dan efisien. Software ini dapat digunakan untuk memodelkan struktur baja, menghitung jumlah material yang digunakan, dan bahkan melakukan analisis energi.

5. METODE PENELITIAN

1. Studi Literatur • Melakukan kajian mendalam terhadap literatur terkait konsep embodied carbon, siklus hidup analisis (LCA), dan penerapan software Tekla Structure Designer dalam analisis struktur baja. • Mengidentifikasi metode-metode yang umum digunakan dalam menghitung embodied carbon pada material baja. • Mengumpulkan data embodied carbon dari berbagai sumber, seperti database EPD (Environmental Product Declaration) dan literatur ilmiah.
2. Studi Kasus • Studi kasus yang digunakan dalam penelitian ini adalah Gedung dengan menggunakan material baja 5 (lima) lantai Hasil analisis menunjukkan bahwa Embodied Carbon Overview by Level pada lantai 1 sampai lantai 5 adalah 143.775 kgCO₂e, nilai Embodied Carbon Overview by Construction Type Steel Beams Rolled Non-Composite 372.217 kgCO₂e, Composite Slabs 212,515 kgCO₂e, Steel Columns Rolled 134142 kgCO₂e sehingga total Embodied Carbon Overview by Level 718.874 kgCO₂e

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perubahan iklim yang semakin parah menempatkan keberlangsungan hidup manusia di planet ini dan kehidupan di atasnya dalam bahaya yang signifikan. Sebagai salah satu penyumbang emisi gas rumah kaca terbesar, sektor konstruksi memiliki tanggung jawab besar untuk mengurangi jejak karbonnya. Isu-isu terkait dengan topik, tujuan, dan manfaat penelitian Produksi baja yang intensif energi dan menghasilkan emisi karbon tinggi adalah masalah utama mengapa baja menjadi material konstruksi yang populer. Perlu Pendekatan yang Lebih Holistik: Analisis siklus hidup, atau evaluasi siklus hidup, menjadi pendekatan yang semakin populer untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari suatu produk, termasuk material konstruksi. Analisis emisi karbon merupakan bagian penting dari analisis siklus hidup, yang memungkinkan kita untuk menghitung emisi karbon total yang terkait dengan suatu produk sepanjang siklus hidupnya.

Software Tekla Structure Designer, memungkinkan analisis yang lebih akurat dan efisien. Software ini dapat digunakan untuk memodelkan struktur baja, menghitung jumlah material yang digunakan, dan bahkan melakukan analisis energi.

Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengukur Karbon Embodied: Menggunakan Software Tekla Structure Designer untuk menghitung jumlah karbon embodied yang terkandung dalam struktur baja yang dirancang.
2. Mengevaluasi Pengaruh Faktor-faktor Desain: Menganalisis bagaimana faktor-faktor seperti jenis profil baja, sambungan, dan dimensi struktur mempengaruhi embodied carbon.
3. Mengembangkan Strategi Pengurangan Embodied Carbon: Mengusulkan strategi-strategi untuk mengurangi embodied carbon dalam desain struktur baja.

Manfaat Penelitian

1. Kontribusi terhadap Pembangunan Berkelanjutan: Penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap upaya pembangunan berkelanjutan dengan memberikan data dan informasi yang akurat tentang embodied carbon dalam struktur baja.
2. Pengembangan Desain yang Lebih Ramah Lingkungan: Hasil penelitian dapat digunakan untuk mengembangkan desain struktur baja yang lebih efisien dan ramah lingkungan.
3. Dukungan Pengambilan Keputusan: Penelitian ini dapat membantu para insinyur, arsitek, dan pembuat kebijakan dalam mengambil keputusan yang lebih baik terkait pemilihan material dan desain struktur.
4. Peningkatan Penggunaan Software Tekla Structure Designer: Penelitian ini dapat mempromosikan penggunaan software Tekla Structure Designer sebagai alat yang efektif untuk analisis embodied carbon.

TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Embodied Carbon

Embodied carbon atau karbon terwujud adalah total emisi gas rumah kaca yang dihasilkan selama siklus hidup suatu produk, mulai dari ekstraksi bahan baku, proses produksi, transportasi, hingga pembuangan. Dalam konteks bangunan, embodied carbon mengacu pada jumlah emisi karbon yang "tertanam" dalam material bangunan. Dengan kata lain, ini adalah jejak karbon yang dihasilkan selama pembuatan dan transportasi material bangunan sebelum bangunan itu digunakan.

Konsep Embodied Carbon dalam Bangunan

Konsep embodied carbon sangat penting dalam memahami dampak lingkungan dari bangunan. Ini membantu kita melihat bahwa emisi karbon tidak hanya berasal dari penggunaan energi bangunan (operasional), tetapi juga dari proses pembuatan bangunan itu sendiri. Komponen Utama Embodied Carbon dalam Bangunan:

Material Bangunan: Setiap material bangunan memiliki embodied carbon yang berbeda-beda, tergantung dari proses produksi dan transportasi. Contohnya, beton dan baja memiliki embodied carbon yang cukup tinggi karena proses produksinya yang intensif energi.

Proses Konstruksi: Aktivitas konstruksi seperti penggalian, transportasi, dan pemasangan juga menghasilkan emisi karbon.

Akhir Masa Pakai: Pembongkaran dan pembuangan material bangunan juga berkontribusi pada embodied carbon.

Faktor yang Mempengaruhi Embodied Carbon:

1. Jenis Material: Material alami seperti kayu dari hutan berkelanjutan umumnya memiliki embodied carbon yang lebih rendah dibandingkan material buatan seperti beton dan baja.
2. Proses Produksi: Proses produksi yang lebih efisien dan menggunakan energi terbarukan dapat mengurangi embodied carbon.
3. Transportasi: Jarak transportasi material dari tempat produksi ke lokasi proyek sangat mempengaruhi embodied carbon.
4. Umur Bangunan: Umur bangunan juga mempengaruhi total embodied carbon. Bangunan dengan umur pakai yang lebih panjang akan memiliki embodied carbon per unit luas yang lebih rendah.

Konsep embodied carbon sangat penting dalam pembangunan berkelanjutan karena beberapa alasan:

1. Mitigasi Perubahan Iklim: Dengan mengurangi embodied carbon, kita dapat berkontribusi pada upaya mitigasi perubahan iklim.
2. Efisiensi Sumber Daya: Memilih material dengan embodied carbon yang rendah dapat membantu menghemat sumber daya alam.
3. Lingkungan yang Lebih Baik: Mengurangi emisi karbon berarti mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan seperti polusi udara, deforestasi, dan perubahan iklim.
4. Pembangunan Berkelanjutan: Konsep embodied carbon mendukung pembangunan yang lebih berkelanjutan, dengan meminimalkan dampak lingkungan dari bangunan.

Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, penting untuk mempertimbangkan tidak hanya energi operasional sebuah bangunan, tetapi juga embodied carbon-nya. Dengan demikian, kita dapat membuat keputusan yang lebih baik dalam memilih material dan desain bangunan yang lebih ramah lingkungan.

METODOLOGI

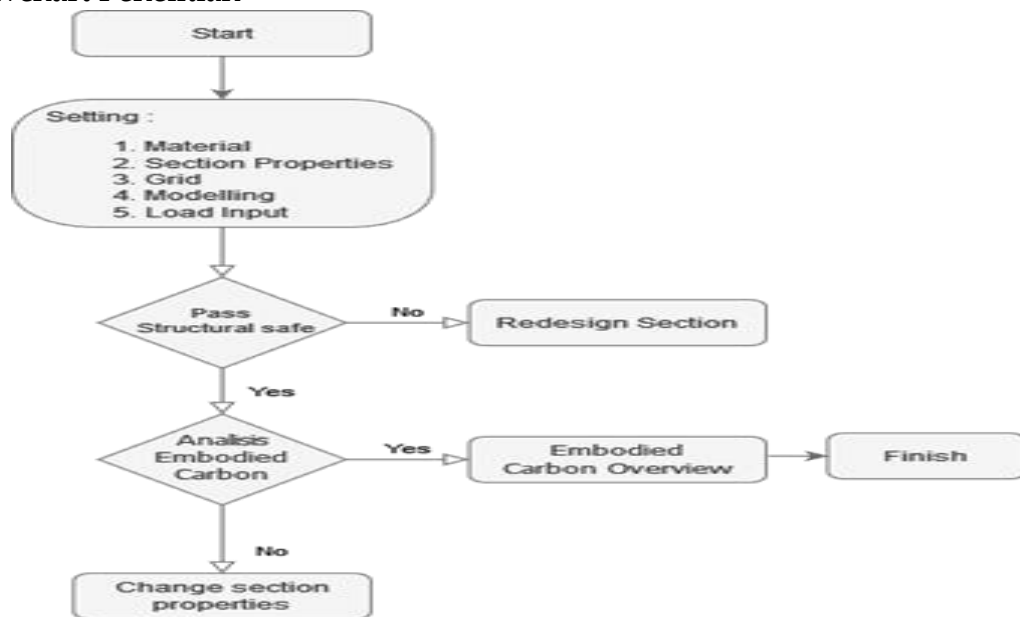
1. Studi Literatur

- Melakukan kajian mendalam terhadap literatur terkait konsep embodied carbon, siklus hidup analisis (LCA), dan penerapan software Tekla Structure Designer dalam analisis struktur baja.
- Mengidentifikasi metode-metode yang umum digunakan dalam menghitung embodied carbon pada material baja.
- Mengumpulkan data embodied carbon dari berbagai sumber, seperti database EPD (Environmental Product Declaration) dan literatur ilmiah.

2. Studi Kasus

- Studi kasus yang digunakan dalam penelitian ini adalah Gedung dengan menggunakan material baja 5 (lima) lantai

3. Flowchart Penelitian



Gambar 1. Flow Chart Penelitian
Sumber : Pengolahan Data

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Data Material

- Material Struktur : Baja
- Type Frame Struktur : Kolom Struktur BJ H Column 400.400.13.21
Baja Balok IWF 300.200 (Bentang 1,5 dan 2 m)
Baja Balok IWF 450.300 (Bentang 5 dan 6 m)
Baja Balok IWF 600.300 (Bentang 9 m)
- Lantai Metal Deck (Bondek) : Tebal Slab 150 mm tebal bondek 1.2 mm
- Kolom Pedestal : 600 mm x 600 mm x 1000 mm Beton Mutu 30 Mpa
- Pondasi Bore Pile : D 500 mm Kedalaman 6 m
- Pilecap Utama : 2500 mm x 2500 mm x 1000 mm
- Mutu Baja Profil : BJ 41
- Mutu Baja Profil (Fu) : 410 Mpa
- Mutu Baja Profil (Fy) : 250 MPa

B. Metode Pembebanan

Perencanaan pembebanan pada struktur ini berdasarkan pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983) dan SNI 03-1729-2019. Kombinasi beban terfaktor yang digunakan dalam metode desain kekuatan berdasarkan SNI 1727 2013 tentang tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain antara lain :

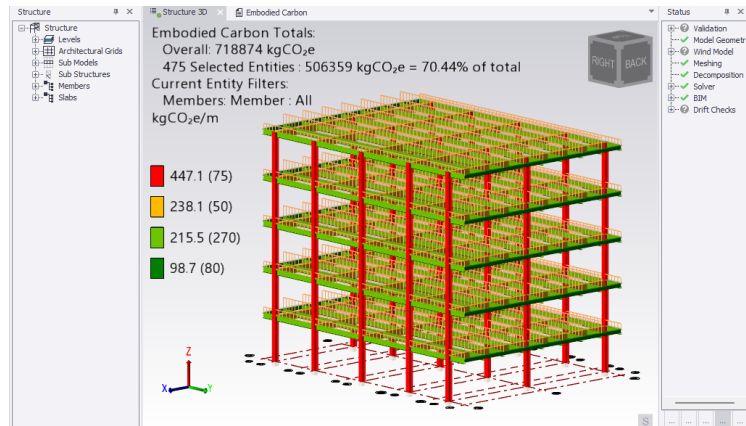
1. Kombinasi 1 $U = 1,4 D$
2. Kombinasi 2 $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
3. Kombinasi 3 $U = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + 1,0 (L \text{ atau } 0,5 W)$
4. Kombinasi 4 $U = 1,2 DL + 1,0 W + 1,0 LL + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
5. Kombinasi 5 $U = 1,2 D + 1,0 E + L$
6. Kombinasi 6 $U = 0,9 D + 1,0 W$
7. Kombinasi 7 $U = 0,9 D + 1,0 E$

C. Pemodelan dan Analisis Kekuatan Struktur dan Embodied Carbon

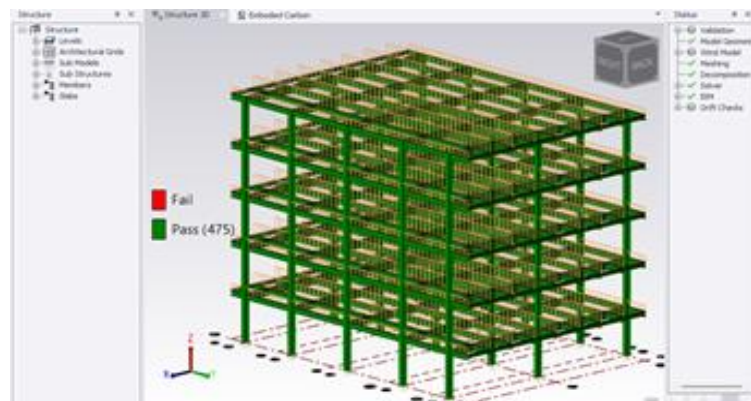
Pemodelan struktur gedung dibuat dengan menggunakan software Tekla struktur desainer versi 24.01.45 dengan Langkah – Langkah pemodelan sebagai berikut :

- Memodelkan Grid, dan Level sesuai dengan denah bangunan
- Setting penampang, balok, kolom, plat,
- Setting material
- Pemodelan struktur dan input beban
- Input beban kombinasi
- Set Analysis – kemudian Run.

Untuk menganalisis kekutan struktur dan Carbon Embodied pada setiap elemen struktur dapat dilihat melalui menu review, seperti pada gambar d bawah ini :



Gambar 2. Total Carbon Embodied pada Bangunan Gedung 5 Lantai



Gambar 3. Hasil Analisis Struktur Menunjukkan Struktur Tidak Mengalami Kegagalan

D. Hasil Perhitungan Kandungan Carbon Dalam Elemen Struktur Gedung

Setelah dilakukan run dan analisis didapatkan detail hasil kandungan karbon sebagai berikut :

Table 1. Embodied Carbon Overview by Level

Reference	Level [m]	Embodied Carbon Mass [kgCO ₂ e]	Floored Area [m ²]	Embodied Carbon Mass per Floored Area [kgCO ₂ e/m ²]
St. 5 (5)	20.000	143775	459	313.2
St. 4 (4)	16.000	143775	459	313.2
St. 3 (3)	12.000	143775	459	313.2
St. 2 (2)	8.000	143775	459	313.2
St. 1 (1)	4.000	143775	459	313.2
Total		718874	2295	313.2

Table 2. Embodied Carbon Overview by Construction Type

Construction Type	Embodied Carbon Mass [kgCO ₂ e]
Steel Beams Rolled Non-Composite Slabs	372217
Steel Columns Rolled	134142
Total	718874

Table3. Embodied Carbon Overview by Construction Type & Material

Construction Type	Material	Quantity	Unit	Carbon Factor	Embodied Carbon Mass
Steel Beams Rolled Non-Composite	Steel	235580.40	kg	Global Rolled open sections (1.580)	372217
Steel Columns Rolled	Steel	84900.00	kg	Global Rolled open sections (1.580)	134142
Composite Slabs	Concrete	691465.78	kg	Cast-in-place,	103720
Composite Slabs	Metal Deck	36977.04	kg	Steel Deck (2.740)	101317
Composite Slabs	Reinforcement Mesh class Gr.	2991.11	kg	Reinforcement mesh (2.500)	7478
Steel Columns Rolled	Coating	721.9	m ²	<not set>	0
Steel Beams Rolled Non-Composite	Coating	3587.0	m ²	<not set>	0
Composite Slabs	Floor Finishes	2295.0	m ²	<not set>	0
Total					718874

Table 4. Embodied Carbon Overview by Material

Material	Quantity	Unit	Carbon Factor	Embodied Carbon Mass [kgCO ₂ e]
Steel	320480.40	kg	Global Rolled open sections	506359
Concrete	691465.78	kg	Cast-in-place, unreinforced,	103720
Metal Deck	36977.04	kg	Steel Deck (2.740)	101317
Reinforcement Mesh class Gr. 65	2991.11	kg	Reinforcement mesh	7478
Coating	4308.9	m ²		
Floor Finishes	2295.0	m ²		
Total				718874

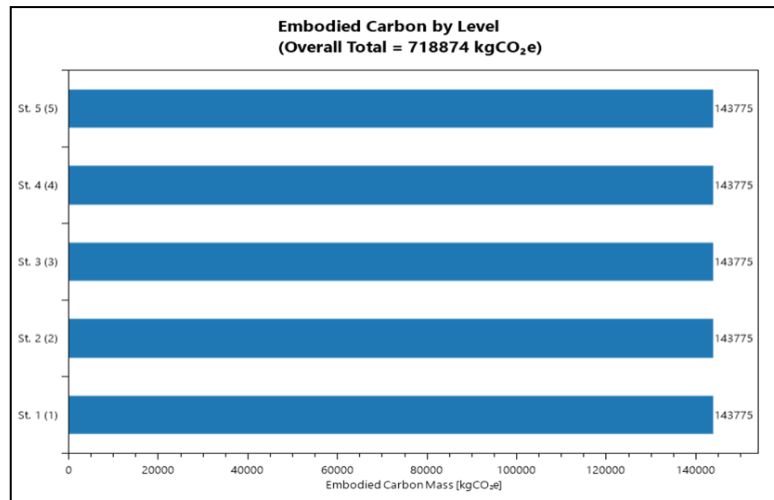


Figure 3. Embodied Carbon by Level

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Analisis terhadap data embodied carbon pada bangunan ini menunjukkan bahwa penggunaan baja dan beton berkontribusi signifikan terhadap total emisi karbon tertanam sebesar 718.874 kgCO₂e. Baja, terutama pada balok dan kolom, menjadi penyumbang terbesar dengan total emisi 486.359 kgCO₂e. Hal ini disebabkan oleh proses produksi baja yang intensif energi. Beton, yang digunakan pada slab komposit, juga memiliki kontribusi yang cukup besar yakni 103.720 kgCO₂e. Variasi faktor karbon pada setiap material menunjukkan bahwa pemilihan material dengan embodied carbon yang lebih rendah dapat menjadi strategi mitigasi yang efektif. Sebagai contoh, meskipun kuantitasnya lebih kecil, penggunaan reinforcement mesh kelas 65 pada slab komposit hanya berkontribusi sebesar 7.478 kgCO₂e. Hasil analisis ini menggarisbawahi pentingnya mempertimbangkan siklus hidup material dalam desain bangunan untuk mengurangi jejak karbon dan mencapai pembangunan yang lebih berkelanjutan.

PENELITIAN LANJUTAN

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai topik Penerapan Tekla Structures Desainer dalam Analisis Siklus Hidup untuk Mengukur Embodied Carbon pada Bangunan Baja untuk menambah wawasan bagi penulis dan pembaca

DAFTAR PUSTAKA

- Allenby, B. R., & Geng, Y. (2003). *Industrial ecology: Environmental sustainability in industry*. Prentice Hall.
- Azapagic, A., & Perdan, S. (2000). *Life cycle assessment: Principles and practice*. Kluwer Academic Publishers.
- Eastlake, R., & Deng, S. (2011). Integrating life cycle assessment with building information modelling. *Automation in Construction*, 21(1), 142-151.
- Ekvall, T., & Svensson, B. (1999). Environmental life cycle assessment of products. *Journal of Cleaner Production*, 7(1), 1-13.

Geng, Y., & Zhao, H. (2014). Embodied energy and carbon in buildings: A review of studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 1223-1235.

Mahdavi, A., & Kashani, R. (2013). A review on the applications of building information modeling (BIM) for life cycle assessment (LCA) in the construction industry. *Automation in Construction*, 33, 1-11.

Penelitian-penelitian yang spesifik membahas penggunaan Tekla Structures dalam analisis struktur baja, misalnya pada jurnal teknik sipil atau konferensi terkait BIM

Stucchi, E., & Trehan, I. (2016). Embodied carbon in steel structures: A review. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1523-1536.

Tekla Corporation. (2023). Tekla Structures User Manual. <https://support.tekla.com/article/tekla-structural-designer-2023-pdf-documentation>