Terbit *online* pada laman web jurnal :http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/

Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 |ISSN (Online) 2597-5129|

Artikel Penelitian

Penerapan Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assessment) Material Arsitektur pada Pembangunan Gedung Rumah Sakit di Kota Malang

Muchammad Rizal Fahmi[*], *Apif Miptahul Hajji, Imam Alfianto*
Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Negeri Malang, Malang, Indonesia
*Koresponden: rizalfahmi670@gmail.com

Diterima: 30 Mei 2025 Diperbaiki: 20 Juli 2025 Disetujui: 20 Agustus 2025

ABSTRACT

The construction sector is a major contributor to greenhouse gas emissions, accounting for 20% of the total emissions that impact global warming. Based on a report from the IPCC the construction sector is responsible for 40% of global energy consumption. The purpose of this research is to identify and evaluate the life cycle of materials in architectural work. The scope of Life Cycle Assessment in this research is cradle to gate where the research is carried out starting from material collection, transportation, to implementation. This research aim to estimate the environmental impact of the use of materials for architectural work in the construction of hospital in Malang City. Life Cycle Assessment analysis using SimaPro 9.5 software. The method used is observation survey method and data collection. Based on the results of the study, it was obtained that the material that has a major contribution to environmental impacts, especially global warming, is lightweight brick material in wall work. Lightweight bricks have the largest contribution to wall work because the material in lightweight bricks contains cement composition, which has the largest carbon emissions in construction.

Keyword: Carbon emissions, Life Cycle Assessment, Lightweight brick

ABSTRAK

Konstruksi merupakan penyumbang utama emisi gas rumah kaca sebesar 20% dari total emisi yang berdampak pada pemanasan global. Berdasarkan laporan dari *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), sektor konstruksi bertanggung jawab atas 40% konsumsi energi global. Tujuan penelitian ini mengidentifikasi serta mengevaluasi siklus hidup material pada pekerjaan arsitektur. Ruang lingkup *Life Cycle Assessment* (LCA) dalam penelitian ini adalah *cradle-to-gate* dimana penelitian dilakukan mulai dari pengambilan material, transportasi, sampai tahap pelaksanaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi dampak lingkungan dari penggunaan material untuk pekerjaan arsitektur di Pembangunan Gedung Rumah Sakit di Kota Malang. Analisis LCA pada penelitian ini menggunakan software SimaPro 9.5. Metode penelitian yang digunakan adalah metode survey pengamatan dan pengumpulan data. Dari hasil penelitian diperoleh material yang mempunyai kontribusi besar terhadap dampak lingkungan khususnya pemanasan global yaitu material bata ringan pada pekerjaan dinding. Pekerjaan dinding dengan menggunakan material bata ringan mempunyai kontribusi yang paling besar karena bata ringan terdapat komposisi semen yang dapat menyebabkan emisi karbon terbesar dalam konstruksi.

Kata Kunci: emisi karbon; *Life Cycle Assessment*; bata ringan

1. PENDAHULUAN

Pemanasan global merupakan masalah yang menarik perhatian luas pada masyarakat dunia. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan suhu udara, perubahan siklus hidrologi, perubahan pola cuaca dan banyaknya bencana hidrometeorologi di seluruh dunia (Delav & Dino, 2021). Penyebab pemanasan global diakibatkan dari beberapa aspek yaitu industri, konstruksi, dan pengambilan sumber daya alam yang berlebihan sehingga membuat pemanasan global meningkat pada setiap tahunnya (Martino, 2019). Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer meningkatkan efek gas rumah kaca dan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca yang menyebabkan suhu bumi meningkat setiap tahunnya. Menurut Deklarasi *Copenhagen* UIA (*Union Internationale des Architectes*), aktivitas konstruksi berdampak pada pemanasan global dan perubahan iklim

 Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International.

(Tanuwidjaja, 2018). Laporan dari hasil *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) menunjukkan bahwa industri konstruksi bertanggung jawab atas seperempat dari total emisi karbon dioksida (CO_2) dan 40% dari konsumsi energi di seluruh dunia (Hong dkk., 2015).

Industri konstruksi memberikan beban yang besar terhadap lingkungan dalam seluruh siklus hidupnya, mulai dari tahap perencanaan, tahap konstruksi, tahap operasional bangunan hingga pembongkaran (Delav & Dino, 2021). Konstruksi gedung dapat memberikan dampak signifikan terhadap pemanfaatan lahan, penggunaan sumber daya alam, dan emisi gas rumah kaca (Kimsan, 2023). Dalam upaya menekan jumlah pencemaran emisi karbon dampak dari industri konstruksi diperlukan metode konstruksi yang mengutamakan kelestarian lingkungan. Material bangunan merupakan komponen bangunan yang dalam proses pembuatannya mengonsumsi energi. Dalam proses produksi material bangunan, penggunaan energi di setiap tahapannya menjadi salah satu parameter tingkat emisi gas CO_2. Semakin tinggi penggunaan energi fosil yang maka emisi gas CO_2 akan semakin yang tinggi dan beresiko menyebabkan pemanasan global (Pratiwi, 2020).

Studi yang dilakukan yang dilakukan oleh Uda (2021) menyatakan bahwa material bangunan merupakan unsur utama dalam kegiatan konstruksi, dimana proses produksi material banyak mengkonsumsi energi dan menghasilkan karbondioksida (CO_2). Beberapa upaya yang dilakukan untuk menjaga kelestarian lingkungan terhadap permasalahan global, yaitu pemilihan bahan bangunan melalui analisis dampak bahan bangunan terhadap lingkungan yang disebut dengan *Life Cycle Assessment* (Febriyani & Wijatmiko, 2021). Studi sebelumnya tentang penilaian *Life Cycle Assessment* (LCA) telah dilakukan oleh Rakhmawati dkk., (2020) yang menyatakan bahwa pengecoran pelat beton adalah proses yang paling banyak berkontribusi terhadap dampak lingkungan, terutama terhadap pemanasan global yang berasal dari semen sebagai penyebab emisi karbon terbesar dalam konstruksi. Penggunaan *Life Cycle Assessment* (LCA) untuk penelitian sektor bangunan membantu mengurangi jejak lingkungan dari bangunan dan mendukung konstruksi yang lebih berkelanjutan untuk mengurangi dampak lingkungan.

Menurut Samad & Yahya (2016) ada 3 (tiga) dampak lingkungan terkait bahan bangunan yaitu dampak bahan bangunan terhadap kesehatan manusia, degradasi ekologi, dan dampak pada konsumsi energi (produksi material arsitektural dapat menghabiskan sumber daya alam yang berharga, seperti kayu, air, dan logam). Penelitian ini berkonsentrasi pada material finishing arsitektural dengan ruang lingkup *cradle-to-gate*, yang berarti mengevaluasi bahan baku hingga produk dipasang di lokasi. Pengiriman material dari luar kota atau bahkan dari jarak yang lebih jauh dapat menghasilkan emisi karbon yang signifikan. Semakin jauh jarak pengiriman material, maka semakin besar pula dampak emisi karbon terhadap lingkungan yang dihasilkan.

Penggunaan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan ruang lingkup *"cradle-to-gate"* untuk mengevaluasi dampak lingkungan material finishing arsitektur menjadi suatu inovasi penting. Banyak penelitian sebelumnya yang mengkaji dampak material secara keseluruhan termasuk pada tahap pelaksanaan dan pembongkaran, tetapi penelitian ini lebih fokus pada tahap dari bahan baku hingga produk terpasang, yang dapat memberikan wawasan lebih mendalam tentang dampak transportasi dan pemilihan material dalam fase awal pembangunan. Penggunakan Software Simapro 9.5 sebagai alat bantu untuk analisis data penelitian bertujuan untuk mengukur dampak lingkungan material melalui LCA sehingga dapat memberikan pendekatan yang lebih modern dan akurat dalam mengkaji emisi karbon. Software ini memungkinkan analisis yang lebih rinci dan berbasis data, memberikan hasil yang lebih komprehensif dibandingkan dengan pendekatan konvensional dalam penelitian sebelumnya

Evaluasi *Life Cycle Assessment* (LCA) memiliki siklus yang mencakup transportasi, pelaksanaan, ekstraksi bahan mentah, dan daur ulang. Penelitian ini memperkenalkan elemen transportasi material sebagai faktor penting dalam emisi karbon, terutama karena banyak material arsitektural yang berasal dari luar kota, seperti vinyl yang dikirim dari Jakarta Utara. Analisis mengenai dampak transportasi terhadap emisi karbon sering kali belum menjadi fokus utama dalam penelitian terkait bahan bangunan. Padahal, aspek ini memiliki kontribusi signifikan terhadap total emisi dalam siklus hidup material konstruksi. Oleh karena itu, memasukkan variabel transportasi ke dalam kajian bahan bangunan dapat memberikan sudut pandang baru yang relevan dan mendukung upaya pembangunan berkelanjutan secara lebih komprehensif. Penelitian ini memperkenalkan elemen transportasi material sebagai faktor penting dalam emisi karbon, terutama karena banyak material arsitektural yang berasal dari luar kota. Analisis dampak transportasi terhadap emisi karbon seringkali terabaikan dalam penelitian terkait bahan bangunan, sehingga memberikan sudut pandang baru yang relevan untuk pembangunan berkelanjutan.

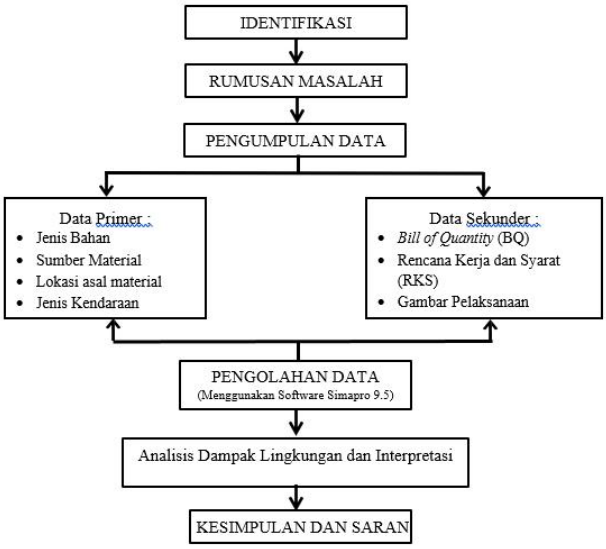
Penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk mengidentifikasi masalah, tetapi juga menawarkan solusi alternatif untuk mencapai pembangunan berkelanjutan dengan mengevaluasi pilihan material yang lebih ramah lingkungan. Hal ini sangat penting karena penelitian ini tidak hanya mengarah pada pemahaman dampak, tetapi

juga memberikan jalan keluar yang praktis dan aplikatif bagi industri konstruksi. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan pada kajian pemilihan material dalam industri konstruksi untuk mengurangi dampak pemanasan global. Hal ini dapat memberikan perspektif baru dalam bidang konstruksi berkelanjutan, khususnya terkait material finishing arsitektur dan pengelolaan emisi karbon di sektor kesehatan.

2. METODOLOGI

Penelitian ini merupakan jenis penelitian studi kasus yang yang dilatarbelakangi oleh penggunaan material bangunan finishing arsitektur yang memiliki jarak antara pemasok (supplier) dengan lokasi proyek yang cukup jauh. Subjek penelitian berlokasi pada Proyek Pembangunan Gedung Rumah Sakit di Kota Malang, Jawa Timur. Penelitian ini menggunakan studi kasus yang spesifik, yaitu pembangunan rumah yang memiliki persyaratan khusus seperti kebersihan, sterilisasi, daya tahan, dan estetika yang dapat mempengaruhi pilihan material. Hal ini memberikan pendekatan baru dalam penelitian konstruksi berkelanjutan dengan mengaitkan kebutuhan spesifik sektor kesehatan dengan analisis lingkungan. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan observasi lapangan dan analisis dokumen proyek.

Analisis dokumen proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit meliputi dokumen *Bill of Quantity* (BQ), Rencana Kerja dan Syarat (RKS), serta Gambar Pelaksanaan yang dapat memberikan informasi mengenai bagaimana material tersebut akan mempengaruhi dampak lingkungan. Informasi ini dipergunakan untuk perhitungan dampak bahan bangunan yang berpotensi terhadap lingkungan dari material arsitektur. Kerangka pelaksanaan penelitian ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 1. Kerangka Penelitian

Tahapan analisis data *Life Cycle Assessment* (LCA) mencakup seluruh siklus hidup produk yang dipilih, termasuk material produk arsitektur, transportasi, dan pelaksanaan pekerjaan arsitektur (Barbhuiya & Das, 2023). Basis data untuk menentukan tujuan penelitian yang digunakan untuk meneliti perangkat lunak *SimaPro* menggunakan basis data Ecolnvent yaitu kebautuhan material dan transportasi yang digunakan untuk menghasilkan perkiraan emisi produk pekerjaan arsitektural.

Analisis *Inventory*

Informasi terkait pembuangan dan konsumsi bahan baku dikumpulkan pada tahap *Inventory Analysis*. Pada tahap ini semua data informasi mengenai kebutuhan pekerjaan arsitektur dimasukkan, antara lain:

1. Kebutuhan material
2. Tempat pembelian material konstruksi untuk mengetahui jarak dan jenis kendaraan yang digunakan untuk mengangkut material konstruksi.

Hasil yang diperoleh pada langkah ini yaitu berapa banyak bahan pencemar yang dilepaskan ke lingkungan dan berapa banyak banyak material dan energi yang digunakan dalam proses pengerjaan.

Penilaian Dampak

Penilaian dampak atau *impact assessment* adalah tahap evaluasi hasil inventarisasi yang telah dilakukan sebelumnya untuk mengembangkan kategori dampak lingkungan bagi produk arsitektur. Data penelitian ini diolah menggunakan metode penilaian dampak dengan analisis *ReCiPe* 2016. Pada analisis ReCiPe 2016,

kerusakan lingkungan difokuskan pada tiga aspek utama yaitu kesehatan manusia, ekosistem dan kelangkaan sumber daya alam.

Interpretasi

Interpretasi berfungsi untuk mengidentifikasi dan memberikan usulan solusi perbaikan yang dapat diterapkan secara efektif dan efesien untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Dalam tahap yang pertama yaitu mengidentifikasi dampak lingkungan yang signifikan, seperti emisi karbon, penggunaan energi, penggunaan air, atau dampak lainnya. Interpretasi berfungsi untuk membandingkan perbedaan dampak lingkungan berbagai material bangunan yang dievaluasi dalam *Life Cycle Assessment* (LCA). Membandingkan material-material dari hasil *Life Cycle Assessment* (LCA) dan kriteria keberlanjutan telah ditetapkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Adanya peningkatan aktivitas konstruksi gedung di seluruh dunia, dampak lingkungan telah menjadi perhatian utama yang memerlukan pertimbangan serius (Kimsan, 2023). Menurut Boston dkk.,(2008), industri konstruksi merupakan konsumen bahan baku terbesar kedua setelah industri makanan. Bangunan dan pemanfaatannya bertanggung jawab atas sebagian besar beban lingkungan yang diakibatkan oleh aktivitas manusia (Szokolay, 2012). Ketika memilih bahan baku, kompatibilitas lingkungan sangatlah penting. Untuk memahami dampak bahan bangunan terhadap lingkungan, pendekatan siklus hidup harus diterapkan. Dalam Deklarasi *Copenhagen*, UIA menyampaikan betapa bangunan dan industri konstruksi berdampak kepada perubahan iklim yang terjadi saaat ini. Dan berbagai dampak ini dapat dikurangi dengan menentukan bentuk sistem lingkungan binaan (Tanuwidjaja, 2018). Metode *Life Cycle Assessment* (LCA) adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi konsumsi energi dan bahan mentah, emisi yang dikeluarkan ke lingkungan, dan limbah lainnya yang berkaitan dengan siklus hidup suatu produk atau system (Hardianto, 2020).

Kajian *Life Cycle Assessment* pada penelitian ini dilakukan di Proyek Pembangunan Rumah Sakit Gigi dan Mulut di Kota Malang. Rumah Sakit Gigi dan Mulut adalah fasilitas kesehatan yang khusus menyediakan layanan terkait kesehatan gigi dan mulut yang terletak di lahan seluas 2.813 meter persegi dan terdiri dari 7 lantai. Lantai 1 digunakan untuk bangunan Unit Gawat Darurat (UGD), rawat jalan, dan registrasi. Lantai 2 diperuntukkan bagi ruang rawat inap, sementara lantai 3 hingga 5 menampung unit dental khusus pimpinan. Lantai 6 dan 7 digunakan untuk pertemuan dan tenaga ahli. Dalam pelaksanaan Pembangunan Rumah Sakit Gigi dan Mulut, lingkup pekerjaan proyek meliputi empat bagian pekerjaan, yaitu pekerjaan persiapan, pekerjaan struktur, pekerjaan arsitektur, dan pekerjaan MEP. Pada penelitian ini, fokusnya adalah pada penilaian siklus daur hidup material dalam pekerjaan arsitektur untuk pekerjaan dinding.

3.1. Hasil Penerapan Siklus Hidup Pekerjaan Dinding

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh uraian data pekerjaan arsitektur dan jenis material pada pekerjaan dinding dalam proyek khususnya pada pekerjaan pemasangan bata ringan pada Pembangunan Rumah Sakit Gigi dan Mulut di Kota Malang. Material pekerjaan arsitektur yang dihitung berdasarkan tipe yang terdapat dalam spesifikasi teknis. Data jenis dan jarak pengiriman material yang telah teridentifikasi selanjutnya dikonversi ke satuan massa kemudian disesuaikan dengan kebutuhan.

Hasil data yang telah diperoleh selanjutnya dilakukan analisa menggunakan pendekatan Midpoint yaitu penilaian dampak berupa Characterization. Pada tahap karakterisasi, setiap hasil inventarisasi dihitung dengan faktor karakterisasi yang sesuai, kemudian hasil perhitungan tersebut diproses untuk mendapatkan nilai dampak lingkungan setiap kategori. Seluruh siklus hidup material diperhitungkan, dan hasil penilaian dampak dari pekerjaan dinding untuk setiap kategori.

Tabel 2. Jenis dan Jumlah Bahan Pekerjaan Dinding

No	Uraian Bahan	Qty	Sat	Konversi Qty	Sat
1	Bata ringan 100x200x600	1.014,68	m^3	608.806,32	Kg
2	Mortar instan perekat	1.014,68	sak	40.587,09	Kg
3	Air	10.654,11	liter	10.654,11	Kg

Tabel 3. Lokasi Asal Material Bata Ringan

No	Kebutuhan	Alamat	Jarak
1	Bata Ringan 100 x 200 x 600	Jl. Raya Pacet KM 3, Jatilangkung, Pungging, Kec. Mojosari, Mojokerto	80,9 km

Inventory Analysis Material

Pada tahap *inventory analysis material*, dilakukan input dan pengolahan informasi bahan baku yang disebut *assembly*. Menganalisis pekerjaan arsitektur memerlukan masukan dan keluaran yang mencakup material dan energi (*transport*) yang digunakan setiap proses. Pada tahap *life cycle inventory* di SimaPro 9.5, definisi bahan disertakan dalam *processes*. Setelah bahan-bahan ditentukan pada kolom *processes*, tahap selanjutnya dalam *product stages* adalah tahap *assembly* yaitu tahap dimana semua bahan yang ditentukan diklasifikasikan untuk setiap pekerjaan arsitektur dan estimasi penggunaan energi yang dibutuhkan untuk setiap tahapan. Hasil proses input data penelitian tersebut diperoleh data dampak yang ditimbulkan dari pekerjaan dinding bata ringan pada proyek Rumah Sakit Gigi dan Mulut di Kota Malang seperti yang tertera pada **Gambar 2** berikut

	Impact category	Unit	Dinding Bata Ringan	Plesteran Semen Instan	Panel Dinding Insulated PIR	Acian Semen Instan	Dinding Partisi Gypsumboard
☑	Global warming	kg CO2 eq	3,85E5	9,31E3	1,21E4	1,37E4	2,35E3
☑	Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0,0592	0,00118	0,0366	0,00207	0,000445
☑	Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	8,21E3	98,6	335	201	773
☑	Ozone formation, Human health	kg NOx eq	842	27	30,2	39,5	4,92
☑	Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	371	8,26	19,2	13,7	3,46
☑	Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	872	27,8	32,8	40,7	5,04
☑	Terrestrial acidification	kg SO2 eq	835	19,7	44	31,5	6,55
☑	Freshwater eutrophication	kg P eq	68,4	0,961	3,53	2,3	0,35
☑	Marine eutrophication	kg N eq	6,77	0,135	2,98	0,334	0,108
☑	Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,23E6	3,96E4	6,59E4	6,06E4	1,84E4
☑	Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	9,8E3	163	601	251	51,1
☑	Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,33E4	237	787	364	74,9
☑	Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1,53E4	301	1,02E3	453	740
☑	Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2,13E5	4,75E3	1,24E4	7,53E3	1,13E3
☑	Land use	m2a crop eq	9,51E3	374	178	620	112
☑	Mineral resource scarcity	kg Cu eq	4,34E3	34,1	41,3	44,7	74,9
☑	Fossil resource scarcity	kg oil eq	7,02E4	1,61E3	4,53E3	2,5E3	575
☑	Water consumption	m3	1,64E3	80,8	189	60,2	18,3

Gambar 2. *Impact Assessment* Material Pekerjaan Dinding

Pada gambar tersebut, siklus hidup material untuk pekerjaan dinding menunjukkan 18 kategori dampak lingkungan, di mana setiap material memberikan kontribusi terhadap masing-masing kategori tersebut. Pada kategori dampak pemanasan global menunjukkan bahwa pekerjaan dinding bata ringan sebesar 3,85E+5 kg CO_2 eq yang menunjukkan bahwa material bataringan mempunyai pengaruh paling besar dalam siklus hidup bangunan Rumah Sakit Gigi dan Mulut di Kota Malang. Untuk material, faktor karbon biasanya dilaporkan dalam massa atau volumetrik dengan satuan kg CO_2 eq per kg atau ton. Untuk energi, faktor karbon dilaporkan dalam satuan per mega Joule atau KWh listrik, atau per unit fisik bahan bakar yang dikonsumsi (Jandaghian, 2022). Hasil dari karakterisasi ini mengukur dampak lingkungan dari jumlah kebutuhan material bata ringan pada Pembangunan Rumah Sakit Gigi dan Mulut di Kota Malang. Secara umum, total nilai karakterisasi pekerjaan dinding secara keseluruhan ditampilkan pada **Tabel 4**. di bawah ini.

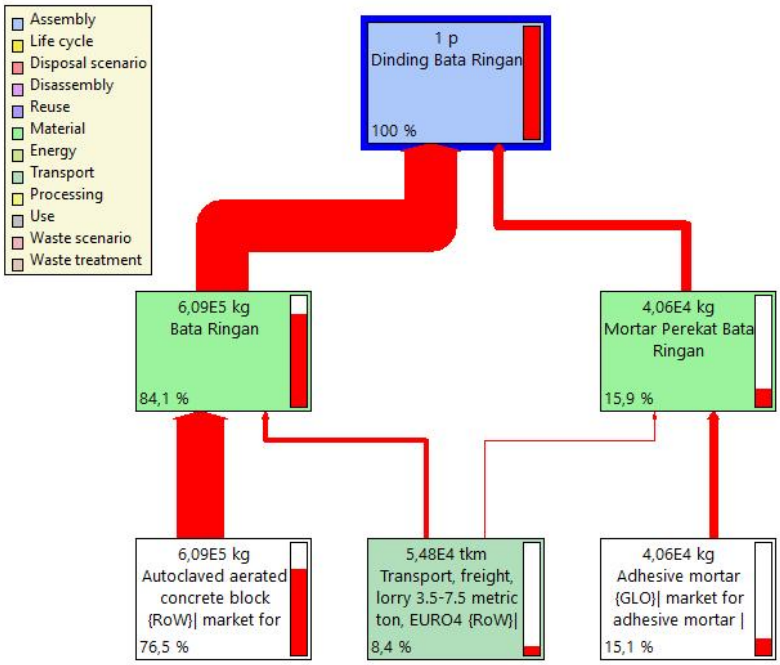
Tabel 4. Total Nilai *Characterization* Pekerjaan Dinding

Impact Category	**Unit**	**Total**
Global Warming	kg CO2 eq	422.566,112
Stratospheric Ozone Depletion	kg CFC11 eq	0,099
Ionizing Radiation	kBq Co-60 eq	9.618,243
Ozone Formation, Human Health	kg NOx eq	943,599
Fine Particulate Matter Formation	kg PM2.5 eq	415,267
Ozone Formation, Terrestrial Ecosystems	kg NOx eq	978,299
Terrestrial Acidification	kg SO2 eq	937,004
Freshwater Eutrophication	kg P eq	75,589
Marine Eutrophication	kg N eq	10,327
Terrestrial Ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1.414.020,352
Freshwater Ecotoxicity	kg 1,4-DCB	10.864,505
Marine Ecotoxicity	kg 1,4-DCB	14.718,372
Human Carcinogenic Toxicity	kg 1,4-DCB	17.782,742

Impact Category	Unit	Total
Human Non-Carcinogenic Toxicity	kg 1,4-DCB	239.166,171
Land Use	m2a crop eq	10.794,335
Mineral Resource Scarcity	kg Cu eq	4.530,606
Fossil Resource Scarcity	kg oil eq	79.408,662
Water Consumption	m3	1.987,022

Sumber: Olahan Penulis, 2025

Hasil penilaian berdasarkan penggunaan SimaPro, dampak pemanasan global dapat ditampilkan dalam bentuk diagram alir yang menggambarkan hubungan antara setiap proses yang dapat menimbulkan dampak lingkungan. Diagram tersebut mencakup komponen, bahan, dan proses, serta menunjukkan bagaimana masing-masing bahan digunakan selama siklus hidupnya. **Gambar 3** berikut menunjukkan diagram alir untuk material pekerjaan dinding bata ringan.



Gambar 3. Diagram Alir Emisi Material Bata Ringan

Diagram alir siklus hidup ini menyediakan informasi tentang hubungan antara setiap proses yang mempengaruhi dampak lingkungan dari material dinding bata ringan. Dalam diagram alir untuk dinding bata ringan, panah merah menandakan proses yang berdampak pada lingkungan, dan panah merah tebal menunjukkan bahwa material bata ringan memiliki dampak lingkungan yang signifikan. Dalam diagram alir emisi CO_2 selama siklus hidup pekerjaan dinding bata ringan, material bata ringan berkontribusi terhadap dampak lingkungan sebesar 3,24E5 kg CO_2 eq dan sementara material mortar perekat memberikan dampak sebesar 6,12E4 kg CO_2 eq.

Analisis lingkungan mengelompokkan material ke dalam kategori rendah karbon dan tinggi karbon, dengan material rendah karbon meliputi pasir, blok batu, kayu, mortar semen, papan serat kepadatan menengah, papan gipsum, batu bata, ubin, busa polystyrene, kerikil, semen, kaca, beton, aspal, tulangan, plester, batu, baja, kapur, pipa PVC, keramik, dan aluminium (Ghanbari, 2023). Hasil penilaian LCA pada pekerjaan dinding yang dilakukan menunjukkan bahwa material bangunan pekerjaan dinding memperlihatkan tingginya konsumsi energi dan air, serta emisi karbon sebesar 422.566,112 kg CO_2 eq. Tahap Transportasi memberikan kontribusi tambahan terhadap emisi GRK, dengan emisi karbon yang dihasilkan dari kendaraan pengangkut material ke lokasi konstruksi. Emisi yang dihasilkan dari tansportasi sebesar 39.090,09 kg CO_2 eq.

Mendukung hasil penelitian yang dilakukan oleh Zhou (2021) yang menilai siklus hidup komponen bangunan fabrikasi dan total emisi karbon yang dihasilkan menunjukkan bahwa total emisi karbon dari komponen prefabrikasi dalam proyek adalah 3.277,66 ton, dengan emisi karbon pada tahap produksi sebesar 85,58%, tahap transportasi 12,37%, dan tahap instalasi lapangan 1,05%. Perbedaan penilaian komponen dinding yang

dilakukan oleh Balasbaneh dkk., (2018), menunjukkan bahwa dinding bangunan dengan komponen kayu memiliki kinerja yang lebih baik dalam hal biaya dan dampak emisi CO_2.

Proyek konstruksi gedung bertanggung jawab atas sebagian besar dampak lingkungan, terhitung 40% dari total konsumsi energi, bangunan memerlukan perhatian khusus dari para pembuat kebijakan (Serrano & Álvarez, 2016). Bentuk implementasi terhadap konsep arsitektur yang berkelanjutan adalah bangunan ramah lingkungan yang sering dikenal dengan istilah bangunan hijau atau *green building* (Sudarman dkk., 2021). Usulan perbaikan dampak lingkungan dari pekerjaan dinding meliputi pertimbangan pemilihan komponen dinding yang memiliki lebih sedikit emisi, dan memilih pengambilan material yang lebih dekat dengan lokasi proyek, dan menggunakan moda transportasi yang lebih ramah lingkungan atau pengaturan pengiriman bahan dalam jumlah besar sekaligus untuk mengurangi frekuensi transportasi.

Material pekerjaan dinding pada penelitian ini yang memberikan kontribusi tertinggi adalah bata ringan (*Autoclaved Aerated Concrete)* yang terbuat dari bahan-bahan berupa pasir, semen, kapur, dan gypsum. Untuk mengurangi emisi CO_2, disarankan memilih material bata ringan yang sudah memiliki sertifikasi hijau (*green label*) dari *Green Product Council Indonesia* (GPCI). Secara keseluruhan, hasil LCA *cradle to gate* untuk pekerjaan dinding menunjukkan bahwa dampak lingkungan terbesar terjadi pada tahap produksi bahan, terutama disebabkan oleh proses energi intensif dan emisi yang terkait dengan pembuatan material bangunan. Upaya untuk mengurangi dampak ini dapat dilakukan melalui optimasi proses produksi, penggunaan bahan baku dengan jejak karbon yang lebih rendah, dan pengurangan jarak transportasi material.

3.2. Hasil Evaluasi Dampak Lingkungan Material Pekerjaan Dinding

Berdasarkan hasil *Impact Assessment* pada keseluruhan pekerjaan dinding, material bata ringan menunjukkan kontribusi terbesar terhadap pemanasan global di antara semua material dinding yang dianalisis. Hal ini terlihat dari tingginya nilai *Characterization* untuk emisi CO_2 yang dihasilkan dari studi kasus pembangunan ini, material bata ringan menghasilkan emisi sebesar 385,072 kg CO_2 eq. Material bata ringan menyumbang sebagian besar jejak energi gedung, menunjukkan bahwa produksi dan penggunaan bata ringan merupakan faktor dominan dalam konsumsi energi keseluruhan proyek. Dampak energi dari transportasi relatif kecil dibandingkan dengan material bata ringan, namun tetap penting untuk diperhatikan. Konsentrasi jejak energi bata ringan menyumbang 91% dari total jejak energi, sedangkan jejak dari transportasi sebesar 9%. Volume kebutuhan bata ringan yang besar merupakan faktor utama yang menyebabkan tingginya dampak pemanasan global. Semakin besar volume material yang digunakan, semakin tinggi pula total emisi yang dihasilkan. Temuan ini konsisten dengan hasil yang diperoleh oleh Jimenez (2017) dan Broun & Menzies (2011) yang menyarankan pengurangan dampak pemanasan global dengan menggunakan material dengan jejak karbon yang lebih rendah atau material yang telah bersertifikasi hijau, seperti yang disarankan dalam penelitian ini.

Interpretasi

Industri konstruksi harus ikut campur tangan secara positif untuk mengimplementasikan implikasi spesifik industri dan kebijakan mitigasi tingkat nasional dan global untuk mendukung pengurangan gas rumah kaca (Anuradha & Halwatura, 2021). Berdasarkan penilaian kerusakan, kita dapat mengidentifikasi kategori yang menyebabkan dampak terhadap kesehatan manusia, kualitas ekosistem, dan kelangkaan sumber daya. Dampak lingkungan terhadap kesehatan manusia meliputi penipisan ozon stratosfer, radiasi pengion, pembentukan ozon, kesehatan manusia, pembentukan partikel halus, serta toksisitas karsinogenik dan non-karsinogenik. Dampak lingkungan terhadap kualitas ekosistem mencakup pemanasan global, pembentukan ozon, ekosistem darat, asidifikasi darat, eutrofikasi air tawar, eutrofikasi laut, ekotoksisitas darat, ekotoksisitas air tawar, ekotoksisitas laut, dan penggunaan lahan. Sementara itu, dampak terhadap kelangkaan sumber daya meliputi kekurangan sumber daya mineral, kekurangan sumber daya fosil, dan konsumsi air.

Dalam konteks pemilihan material yang ramah lingkungan, penelitian ini menguatkan temuan sebelumnya yang menyatakan bahwa pemilihan sistem dinding panel pracetak dapat mengurangi emisi karbon hingga 26,27% (Wan Omar dkk., 2014). Hal ini penting untuk diperhatikan karena produksi material konstruksi secara tradisional, terutama yang menggunakan beton bertulang atau bata, seringkali membutuhkan energi yang sangat besar, sehingga mengakibatkan dampak lingkungan yang signifikan, seperti yang dijelaskan oleh Broun & Menzies (2011) yang menyatakan bahwa dinding bata memberikan dampak lingkungan terbesar dari seluruh siklus hidup bangunan. Penggunaan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) pada penelitian ini merupakan metode yang efektif untuk mengukur dampak lingkungan dari berbagai pilihan material dan teknik konstruksi.

Seperti yang disebutkan oleh Junnila, dkk. (2006), fase pemeliharaan gedung, yang mungkin tidak banyak diperhatikan, sering kali memberikan beban lingkungan yang lebih besar daripada fase konstruksi itu sendiri. Dalam konteks Rumah Sakit Gigi dan Mulut ini, meskipun dampak terbesar berasal dari produksi bahan

bangunan, fase transportasi juga berkontribusi signifikan terhadap emisi karbon sebesar 39.090,09 kg CO_2 eq. Hasil ini sejalan dengan temuan penelitian oleh Szokolay (2012), yang menyarankan bahwa salah satu cara untuk mengurangi jejak karbon bangunan adalah dengan mempertimbangkan jarak transportasi material dan memilih bahan yang lebih dekat dengan lokasi proyek. Selain itu, dampak lingkungan dari material dinding bata ringan yang dianalisis menunjukkan bahwa meskipun transportasi hanya menyumbang 9% dari total jejak energi, kontribusinya tetap harus diperhatikan, mengingat volume material yang besar digunakan dalam proyek ini.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Akadiri dkk., (2012) menunjukkan bahwa pengurangan jejak karbon dalam sektor konstruksi dapat dicapai dengan strategi yang melibatkan optimasi logistik pengiriman dan penggunaan material dengan jejak karbon yang lebih rendah. Kombinasi teknologi dan bangunan hijau dalam pengembangan industri konstruksi di masa depan harus menjadi sebuah konsep di seluruh siklus hidup. Pada saat yang sama, kolaborasi yang efisien antara teknologi dan bangunan hijau harus diperkuat di masa depan (Pu & Wang, 2021). Aspek-aspek yang nantinya perlu untuk diperhatikan dalam pengembangan konsep green building yaitu pengelolaan landskap kawasan, energi dan air, penggunaan jenis material pada bangunan, serta unsur-unsur keselamatan dan kesehatan dalam bangunan untuk meningkatkan aspek efisiensi penggunaan sumber daya dan mencegah kerusakan lingkungan (Sudarman., 2021).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan mengenai penerapan *life cycle assessment* material finishing arsitektur Pada Pembangunan Rumah Sakit Gigi Dan Mulut di Kota Malang, dapat disimpulkan bahwa penerapan penilaian siklus hidup material arsitektur dalam proses pembangunan memberikan dampak negatif yang paling signifikan terhadap lingkungan adalah emisi karbon. Tahapan siklus hidup material yang memberikan nilai terbesar adalah tahap produksi material. Dalam penilaian jejak karbon untuk finishing material arsitektur, dampak terbesar terjadi pada siklus hidup pekerjaan dinding bata ringan, mencapai 385.072,97 kg CO_2 eq. Bahan baku utama dari bata ringan tersebut adalah beton, yang merupakan komponen material yang berkontribusi signifikan terhadap emisi karbon dan dampak lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

Akadiri, P. O., Chinyio, E. A., & Olomolaiye, P. O. (2012). Design of A Sustainable Building: A Conceptual Framework for Implementing Sustainability in the Building Sector. 126–152. https://doi.org/10.3390/buildings2020126

Anuradha, I. G. N., & Halwatura, R. U. (2021). Life Cycle Embodied Carbon Assessment of Roofing Materials. The Institution Of Engineers Sri Lanka, October.

Balasbaneh, A. T., Bin Marsono, A. K., & Kasra Kermanshahi, E. (2018). Balancing of life cycle carbon and cost appraisal on alternative wall and roof design verification for residential building. Construction Innovation, 18(3), 274–300. https://doi.org/10.1108/CI-03-2017-0024

Barbhuiya, S., & Das, B. B. (2023). Life Cycle Assessment of construction materials: Methodologies, applications and future directions for sustainable decision-making. Case Studies in Construction Materials, 19(June), e02326. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02326

Boston, A. •, Heidelberg, •, London, •, New, •, Oxford, Y. •, San, P. •, San, D. •, Singapore, F. •, & Tokyo, S. •. (2008). Sustainable Construction Sandy Halliday. www.charontec.com

Broun, R., & Menzies, G. F. (2011). Life cycle energy and environmental analysis of partition wall systems in the UK. Procedia Engineering, 21(December 2011), 864–873. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2088

Delav, Y., & Dino, H. (2021). Comparative life cycle assessment of organic building materials. 27, 1–48.

Febriyani, R. A., & Wijatmiko, I. (2021). ENVIRONMENTAL IMPACT EVALUATION ON CONSTRUCTION MATERIALS WITH THE INTEGRATION OF BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) AND LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA). 15(2), 78–85.

Ghanbari, M. (2023). Environmental Impact Assessment of Building Materials Using Life Cycle Assessment. Journal of Architectural Environment & Structural Engineering Research, 6(4), 11–22. https://doi.org/10.30564/jaeser.v6i4.5964

Hardianto, R. (2020). Prategang Mutu K-600 Dengan Metode Analisis Life Cycle Asessment (Lca) Terhadap.

Hong, J. K., Shen, G. Q. P., Feng, Y., & Lau, W. S. T. (2015). Greenhouse Gas Emissions during the Construction Phase of a Building: A Case Study in China J. K. Hong, Geoffrey Q. P. Shen, Y. Feng, William S. T. Lau, C. Mao. 103, 249–259.

Jandaghian, Z. (2022). Embodied Carbon Assessment of Roofing (ECAR) Components. 30(5), 1–5. https://doi.org/10.19080/IJESNR.2022.30.556301
Jimenez, F. J. M. (2017). Life Cycle Energy and CO2 Analysis of a Student Residential Building in Ningbo, China. Norwegian University of Science and Technology, February.
Kimsan, M. (2023). KONSTRUKSI GEDUNG & DAMPAK LINGKUNGAN: A Review. STABILITA || Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 11(3), 184. https://doi.org/10.55679/jts.v11i3.46202
Martino, B. (2019). Pendekatan Life Cycle Assessment (LCA) Kolom dan Balok pada Konstruksi Sebagai Perkiraan Dampak Pemanasan Global. Rekayasa Sipil.
Pratiwi, S. N. (2020). Analisis Energi Pada Berbagai Material Dinding (Bata, Batako Dan Bata Ringan). Jurnal Arsitektur ARCADE, 4(3), 276. https://doi.org/10.31848/arcade.v4i3.543
Pu, L., & Wang, Y. (2021). The Combination of BIM Technology with the Whole Life Cycle of Green Building. 604–613. https://doi.org/10.4236/wjet.2021.93042
Rakhmawati, A. N., Devia, Y. P., & Wijatmiko, I. (2020). Life Cycle Assessment (LCA) Analysis of Concrete Slab Construction For Estimating The Environmental Impact. Rekayasa Sipil, 14(3), 232–237. https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2020.014.03.10
Samad, M. H. A., & Yahya, H. A. (2016). Life Cycle Analysis of Building Materials. Renewable Energy and Sustainable Technologies for Building and Environmental Applications, 1–252. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31840-0
Serrano, A. Á. R., & Álvarez, S. P. (2016). Life cycle assessment in building: A case study on the energy and emissions impact related to the choice of housing typologies and construction process in Spain. Sustainability (Switzerland), 8(3). https://doi.org/10.3390/su8030287
Sudarman, S., Syuaib, M., & Nuryuningsih, N. (2021a). Green Building: Salah Satu Jawaban Terhadap Isu Sustainability Dalam Dunia Arsitektur. Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi, 15(3), 329. https://doi.org/10.24252/teknosains.v15i3.22493
Szokolay, S. V. (2012). Introduction to ARCHITECTURAL SCIENCE the basis of sustainable design. 254, 1–16.
Tanuwidjaja, G. (2018). Desain Arsitektur Berkelanjutan di Indonesia: MSc . Dosen Jurusan Arsitektur Universitas Kristen Petra Abstrak. Arsitektur Universitas Kristen Petra. https://repository.petra.ac.id/15546/
Uda, S. A. K. A. (2021). Embodied Energy and Embodied Carbon Consumption Analysis of 36-Type Simple House Building Materials. Teknik, 42(2), 160–168. https://doi.org/10.14710/teknik.v42i2.34268
Wan Omar, W. M. S., Doh, J. H., Panuwatwanich, K., & Miller, D. (2014). Assessment of the embodied carbon in precast concrete wall panels using a hybrid life cycle assessment approach in Malaysia. Sustainable Cities and Society, 10(November), 101–111. https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.06.002
Zhou, W. (2021). Carbon Emission Estimation of Prefabricated Buildings Based on Life Cycle Assessment Model. Nature Environment and Pollution Technology, 20(1), 147–152. https://doi.org/10.46488/NEPT.2021.V20I01.015