

Analisis Pemodelan *Embodied Energy* Berbasis BIM pada Struktur dan Non-Struktur Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah

Tengku Muhammad Rifani¹, Faris Rizal Andardi^{1*}, Yunan Rusdianto¹, Sandi Wahyudiono¹, Zamzami Septiropa¹

Departemen Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang¹

Koresponden*, Email: farisrzi@umm.ac.id

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	21 Oktober 2024	<i>Construction activities have a significant impact on the environment, mainly through carbon emissions. This research aims to analyze the embodied energy (EE) in buildings as a first step to understanding the energy contribution of the building materials used. Through EE analysis, this research identifies the embodied energy in construction materials and how the selection of eco-friendly materials can reduce carbon emissions. This research uses a quantitative approach to measure and calculate material volume, unit weight, and EE based on data from Revit 3D model and Inventory of Carbon and Energy (ICE). This approach enables precision and standardized analysis, resulting in numerical data that can be objectively analyzed to understand the energy contribution of building materials. The results show that the embodied energy in the structural part of the building is 750,742,975 MJ, accounting for 42.34% of the total building EE, while the non-structural part has an EE of 1,022,321,637 MJ or 57.66% of the total building EE. This shows the importance of material selection to reduce environmental impact.</i>
Diperbaiki	04 Desember 2024	
Disetujui	21 Maret 2025	

Keywords: environment, BIM, Embodied Energy, percentage

Abstrak

Kegiatan konstruksi memiliki dampak signifikan terhadap lingkungan, terutama melalui emisi karbon. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis *embodied energy* (EE) dalam gedung sebagai langkah awal memahami kontribusi energi dari bahan bangunan yang digunakan. Melalui analisis EE, penelitian ini mengidentifikasi energi yang terkandung dalam material konstruksi dan bagaimana pemilihan bahan ramah lingkungan dapat mengurangi emisi karbon. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk mengukur dan menghitung volume material, berat satuan, dan EE berdasarkan data dari Inventory of Carbon and Energy (ICE) yang diintegrasikan dengan pemodel 3D Revit. Pendekatan ini memungkinkan analisis presisi dan standar, menghasilkan data numerik yang dapat dianalisis secara objektif untuk memahami kontribusi energi bahan bangunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa embodied energy pada bagian struktur bangunan adalah 750.742.975 MJ, mencakup 42,34% dari total EE bangunan, sedangkan bagian non-struktur memiliki EE sebesar 1.022.321.637 MJ atau 57,66% dari total EE bangunan. Hal ini menunjukkan pentingnya pemilihan material untuk mengurangi dampak lingkungan.

Kata kunci: lingkungan, BIM, Embodied Energy, presentase

1. Pendahuluan

Pemanasan global menjadi tantangan terbesar bagi umat manusia[1], atmosfer planet menjadi lebih hangat karena penyerapan dan pelepasan kembali panas oleh atmosfer[2] industry konstruksi menjadi salah satu faktor yang mendorong pemanasan global melalui kontribusi 42 persen konsumsi energi primer dan 39 persen emisi gas rumah kaca (GRK) global[3]. Meningkatnya urbanisasi yang tinggi, dimana populasi manusia semakin banyak yang bermigrasi ke perkotaan, penting untuk memastikan bahwa pembangunan kota-kota ini dilakukan dengan cara yang berkelanjutan untuk meminimalkan dampak lingkungan[4].

Mayoritas penduduk dunia kini tinggal di kota-kota[5], adapun migrasi penduduk dunia ke wilayah perkotaan[6]

mengakibatkan penumpukan penduduk di daerah perkotaan, berdampak pada permintaan konstruksi yang meningkat[7], salah satunya perkantoran. Bangunan menjadi elemen penting dalam kehidupan sehari-hari. Pertumbuhan sektor konstruksi tidak hanya berperan vital dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan mendorong pertumbuhan ekonomi, tetapi juga membawa dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan[5].

Kurangnya perhatian untuk mempedulikan lingkungan akibat pembangunan, untuk itu kita harus dengan baik memperhatikan ini semua agar dampak negatif pada bumi dapat berkurang[8]. Upaya mengurangi dampak negatif lingkungan dengan menganalisis energi yang terkandung[9] dalam siklus hidup material bangunan, yaitu *Embodied*

Energy[10]. *Embodied Energy* pada bangunan adalah jumlah energi yang digunakan sepanjang siklus hidup bangunan[11]. Pentingnya alat dan metode yang dapat menilai dampak karbon dan energi dari bangunan secara komprehensif dari tahap awal hingga akhir siklus hidupnya[12]. Teknologi yang semakin maju pada bidang konstruksi.

Terjadinya salah dalam perhitungan pada konstruksi mengakibatkan tidak presisinya hasil analisis sebuah bangunan. Teknologi BIM dapat membuat perhitungan lebih tepat dan komprehensif, dengan data EE yang akurat, tim proyek dapat mengidentifikasi material dengan jejak karbon tertinggi dan mencari alternatif yang lebih ramah lingkungan.

Metode perhitungan *Embodied Energy* (EE) bertujuan untuk menentukan jumlah total energi yang dikonsumsi selama siklus hidup material atau produk, mulai dari tahap ekstraksi bahan mentah hingga material tersebut siap dimanfaatkan dalam proyek konstruksi.

Building Information Modeling (BIM)[13] menjadi alat untuk pendekatan komprehensif untuk menghitung *Embodied Energy* dengan akurat. BIM memungkinkan integrasi[14] data yang diperlukan untuk menghitung angka *Embodied Energy* secara efisien dan tepat.[15] mengkaji data, metode, tantangan, dan tren penelitian terkait *Embodied Energy* dalam bangunan, menyoroti pentingnya BIM dalam mengatasi hal tersebut.

Salah satu solusi yang efisien dan akurat sangat dibutuhkan untuk mengurangi dampak lingkungan dari pembangunan adalah dengan menggunakan BIM[11]. BIM dengan kemampuannya mengintegrasikan data kompleks dari berbagai tahap siklus hidup bangunan(majed), menawarkan potensi besar untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam pengukuran *Embodied Energy*.

Dengan memanfaatkan BIM, industri konstruksi dapat membuat keputusan yang lebih berkelanjutan dan mengurangi dampak lingkungan secara signifikan. J. Goggins [8] meneliti penerapan BIM dalam menilai *Embodied Energy* pada struktur bangunan beton bertulang di Irlandia, menekankan pentingnya teknologi ini dalam perhitungan yang akurat dan efisien. Sangat baik apabila teknologi termuka ini diterapkan di Indonesia.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengukur dan menghitung volume material, berat satuan, dan *Embodied Energy* berdasarkan yang didapat dari 3D model Revit dan *Inventory of Carbon and Energy* (ICE). Pendekatan ini memungkinkan analisis yang presisi dan terstandar, sehingga menghasilkan data numerik yang

dapat dianalisis secara objektif untuk memahami kontribusi dari bahan bangunan yang digunakan.

Pembuatan Model 3D dengan Revit

Pembuatan model 3D pada Revit adalah proses menciptakan representasi digital tiga dimensi dari sebuah bangunan yang direncanakan. Revit adalah salah satu aplikasi *Building Information Modeling* (BIM) yang paling populer digunakan oleh para profesional konstruksi.

Pembuatan model 3D bangunan dengan data yang didapat dari survey lapangan. Revit bukan hanya tentang menciptakan representasi visual dari bangunan, tetapi juga tentang mengintegrasikan semua informasi terkait bangunan ke dalam satu model yang komprehensif. Revit sangat baik digunakan untuk menghasilkan model digital yang akurat dan mendetail, mencakup semua elemen struktural bangunan seperti balok, kolom, plat, dinding, pintu, jendela, dll. Revit membuat tercapainya efisiensi dan akurasi dalam perhitungan energi yang terkandung dalam konstruksi yang lebih baik.

Ekstraksi Data Volume dan Berat Satuan

Ekstraksi data volume dan berat satuan dari pemodelan 3D di Revit diperlukan guna analisis dalam penelitian ini, data yang didapat digunakan untuk berbagai tujuan, termasuk perhitungan *Embodied Energy*. Proses pertama untuk ekstraksi data dengan mengidentifikasi elemen-elemen yang akan dianalisis, seperti dinding, kolom, balok, tulangan, lantai, dan elemen struktural dan non struktur lainnya. Ekstraksi data dapat dilakukan dengan *fitur schedules* yang memungkinkan pengguna untuk membuat daftar elemen berdasarkan kategori tertentu. untuk mengekstraksi data volume dan berat satuan dapat membuat schedule yang mencakup elemen-elemen yang diinginkan. Dalam schedule yang dibuat parameter volume dan berat satuan harus ditambahkan untuk keperluan perhitungan energi yang terkandung. Parameter ini secara otomatis dihitung oleh Revit berdasarkan geometris elemen dalam model 3D dan biasanya diberikan dalam satuan kubik meter sesuai yang diperlukan.

Pengumpulan Data *Embodied Energy* dari ICE

Pengumpulan data *Embodied Energy* merupakan langkah krusial dalam menilai dampak lingkungan dari material bangunan. *Embodied Energy* adalah total energi yang digunakan dalam siklus hidup bangunan, untuk mendapatkan data yang akurat dan komprehensif, sumber data utama yang sering digunakan adalah *Inventory of Carbon and Energy* (ICE) dan berbagai jurnal ilmiah yang relevan[16].

ICE adalah data base yang dikembangkan oleh *Sustainable Energy Research Team* (SERT) di *University of*

Bath, Inggris. ICE menyediakan data rinci mengenai *Embodied Energy* dari berbagai material bangunan.

Perhitungan Total Embodied Energy

Perhitungan total EE melibatkan menghitung jumlah total energi yang terkandung dalam semua material yang digunakan dalam sebuah proyek bangunan. Proses ini dimulai dengan mengidentifikasi semua material yang akan digunakan. Data mengenai EE untuk setiap material dikumpulkan dari sumber yang andal seperti ICE dan jurnal ilmiah. Volume atau massa setiap material dihitung berdasarkan spesifikasi. EE untuk untuk setiap material kemudian dihitung dengan persamaan (1) [11]

$$EE = \text{Volume} \times \text{Berat Satuan} \times \text{Embodied energy per Unit Berat} \quad (1)$$

Penyusunan Data di Excel

Menyusun data EE di Excel melibatkan beberapa langkah utama. Pertama, buat tabel dengan kolom nama material, volume (m^3), *Unit Weight* atau berat satuan (kg/m^3), dan angka EE yang diambil dari database ICE dan jurnal. Hitung total EE dengan mengalikan semua unsur tersebut untuk mendapatkan total EE yang terkandung. Contoh tabel pada excel bisa dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Perhitungan Total EE

Nama Material	Volume (m^3)	Berat Unit (kg/m^3)	Koefisien EE (MJ/kg)	Total EE (MJ)
Concrete Kolom	76,49	235911,35	5	90224295,81
Steel kolom	1,08	416,7	5	11250,9
Panel Pintu	0,078	0,001	50	0,0039
Panel jendela	0,34	0,14	121	5,7596

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Pemodelan 3D

Pemodelan 3D ini dibuat berdasarkan data yang diambil pada proyek gedung salah satu kantor. Pada setiap detail elemen bangunan yang dibangun harus sangat detail untuk mendapatkan angka volume dan *unit weight* yang benar. Seperti jenis kolom K1A yang memiliki dimensi (40X50cm) yang memiliki tulangan pokok 16 buah dengan diameter 19 dan tulangan geser D8 – 200/200 maka dimasukkan sebagai

mana data yang tertera. Hasil dari keseluruhan pemodelan dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Model 3D Gedung Pada Aplikasi Revit

Hasil Ekstrak Data Dari Revit

Hasil ekstrak dari revit harus disesuaikan dengan keperluan parameter yang diperlukan, disini untuk perhitungan EE hanya diperlukan *Unit Weight* dan volume. Hasil ekstrak data bisa dilihat pada **Gambar 2** untuk data non struktur dan pada **Gambar 3** untuk struktur.

Pada **Gambar 2** hasil ekstrak hasil dari 3D non struktur yang menampilkan volume dan *unit weight* pada jendela secara rinci yaitu kaca dan frame. Lantai 1 mendapatkan pada kaca memiliki *unit weight* 427,176 kN/m^3 , untuk volume kaca didapat 0,22³, *unit weight* frame aluminium 0,0014 kN/m^3 dan volume 0,34 m^3 .

<Window Material Takeoff>			
A	B	C	D
Material: Name	Comments	Material: Unit weigh	Material: Volume
Lantai 1			
Glass	Lantai 1	427.1761 kN/m³	0.22 m³
Metal - Aluminum	Lantai 1	0.0014 kN/m³	0.34 m³
		427.1775 kN/m³	0.56 m³
Lantai 2			
Glass	Lantai 2	427.1761 kN/m³	0.22 m³
Metal - Aluminum	Lantai 2	0.0014 kN/m³	0.34 m³
		427.1775 kN/m³	0.56 m³
Lantai 3			
Glass	Lantai 3	522.1041 kN/m³	0.32 m³
Metal - Aluminum	Lantai 3	0.0017 kN/m³	0.43 m³
		522.1058 kN/m³	0.74 m³
Lantai 4			
Glass	Lantai 4	522.1041 kN/m³	0.32 m³
Metal - Aluminum	Lantai 4	0.0017 kN/m³	0.43 m³
		522.1058 kN/m³	0.74 m³
Lantai 5			
Glass	Lantai 5	522.1041 kN/m³	0.29 m³
Metal - Aluminum	Lantai 5	0.0017 kN/m³	0.40 m³
		522.1058 kN/m³	0.70 m³
Grand total		2420.6724 kN/m³	3.30 m³

Gambar 2. Hasil Ekstrak Data Volume dan Unit Weight Non Struktur

Gambar 3 menampilkan angka dari sktruktur, pada lantai 2 ada dua unsur yaitu concrete dan steel WF dengan angka concrete pada *unit weight* 1747,0 kN/m³ dan volume 53,46 m³. *unit weight* Steel WF 4079,5 kN/m³ dan volume 4,86 m³.

<Structural Framing Material Takeoff>			
A	B	C	D
Material: Name	Comments	Material: Unit weight	Material: Volume
Concrete, Cast-in-P	Lantai 1 Sloff	2030.3 kN/m ³	35.06 m ³
		2030.3 kN/m ³	35.06 m ³
Concrete, Cast-in-P	Lantai 1 sloff	188.9 kN/m ³	3.58 m ³
		188.9 kN/m ³	3.58 m ³
Concrete, Cast-in-P	Lantai 2	1747.0 kN/m ³	53.46 m ³
Steel, 45-345	Lantai 2	4079.5 kN/m ³	4.86 m ³
		5826.5 kN/m ³	58.31 m ³
Concrete, Cast-in-P	Lantai 3	1794.2 kN/m ³	56.56 m ³
Steel, 45-345	Lantai 3	3925.6 kN/m ³	4.73 m ³
		5719.8 kN/m ³	61.30 m ³
Concrete, Cast-in-P	Lantai 4	1770.6 kN/m ³	55.23 m ³
Steel, 45-345	Lantai 4	4387.4 kN/m ³	5.30 m ³
		6158.0 kN/m ³	60.53 m ³
Concrete, Cast-in-P	Lantai 5	1770.6 kN/m ³	55.23 m ³
Steel, 45-345	Lantai 5	4387.4 kN/m ³	5.30 m ³
		6158.0 kN/m ³	60.53 m ³
Concrete, Cast-in-P	Lantai 6	1841.4 kN/m ³	31.25 m ³
		1841.4 kN/m ³	31.25 m ³
		27922.8 kN/m ³	310.56 m ³

Gambar 3. Hasil Ekstrak Data Volume dan Unit Weight Struktur

Pengumpulan Nilai *Embodied Energy*

Pengumpulan data tentang *Embodied Energy* untuk masing-masing material diambil dari *inventory of Carbon and Energy* (ICE). ICE menyediakan informasi dari jumlah energi yang diperlukan untuk mengekstraksi, mengolah, dan memproduksi berbagai material konstruksi. Data *Embodied Energy* biasanya dinyatakan dalam megajoule per kilogram (MJ/Kg). Disini data yang dipakai didapatkan dari buku *Embodied Carbon* dari Prof. Geoffrey Hammond and Craig Jones Ed. Fiona Lowrie and Peter Tse (University Of Bath) dan juga dari sumber jurnal yang dicantumkan pada **Tabel 2**.

Penggunaan data dari ICE merupakan salah satu sumber data yang acapkali dijadikan referensi dan komprehensif untuk *Embodied Energy*, yang sering digunakan dalam bidang keberlanjutan dan analisis siklus hidup oleh beberapa perusahaan, seperti AECOM dan Arup.

Dari data yang didapat bisa diidentifikasi angka *Embodied Energy* dengan data sktruktur dan non struktur

yang akan dihitung berdasarkan hasil ekstrak dari Revit tadi. Contoh perhitungan data *Embodied Energy* pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Contoh Angka *Embodied Energy* Dari Jurnal[17]

Bahan	Energi yang Terkandung (MJ/kg)
Semen	3,34
Baja	8,6
Balok Beton Berongga	0,131
Agregat Halus	0,115
Agregat Kasar	0,132
Bata Tanah Liat merah	1,3
Kayu Lapis	13,58
Balok Kayu	10
Beton Pracetak	0,15
Kaca Bening	12,6
Plafon Gypsum	6,647
Plester Mortar	0,8537
Cat	70
Profil Aluminium	121,714
Kaca Bening	12,60
Keramik Pelengkapan	
Sanitasi	21,87
Ubin Keramik Dinding dan lantai	5,6
Genteng Beton	3,02
Semen Fiber	15,30

Perhitungan Total *Embodied Energy* Pada Excel

Data volume, berat satuan, dan *Embodied Energy* sudah terkumpul maka dapat menghitung total *Embodied Energy* untuk setiap material. Penggunaan aplikasi Excel guna mempermudah pengintegrasian perhitungan dan menambahkan peranannya apliasi excel dalam penelitian ini. Perhitungan excel dibagi setiap lantai bangunan, pada gedung kantor ini ada 6 lantai, perhitungan ini dibagi dua antara struktur dan non struktur. Hasil perhitungan secara rinci: **Tabel 3** lantai 1 memiliki EE Struktur sebesar 137521122,7 MJ dan EE non-struktur sebesar 186769089 MJ; **Tabel 4** lantai 2 memiliki EE struktur sebesar 136442585,3 MJ dan EE non-struktur sebesar 186769089 MJ; **Tabel 5** lantai 3 memiliki EE struktur sebesar 139891965,4 MJ dan EE non-struktur sebesar 217212293,2 MJ; **Tabel 6** lantai 4 memiliki EE struktur sebesar 149261226,3 MJ dan EE non-struktur sebesar 213722975 MJ; **Tabel 7** lantai 5 memiliki EE struktur sebesar 149259772,7 MJ dan EE non-struktur sebesar 153207351,1 MJ; **Tabel 8** lantai 6 memiliki EE struktur sebesar 38366302,57 MJ dan EE non-struktur sebesar 28042269,41 MJ.

Tabel 3. Perhitungan *Embodied Energy* Pada Revit Lantai 1

No	Struktur/Non Struktur	Nama Material	Volume (m ³)	Berat Unit (Kg/m ³)	Koefisien EE (MJ/Kg)	Total EE (MJ)	Total Struktur dan Non Struktur	Total	%
1	Struktur	Concrete (kolom)	76,49	235911,35	5	90224295,81	137521122,7	360888782,6	38,11
		Concrete (sloof)	38,64	219157,41	5	42341211,61			
		concrete (plat)	204,59	4813,06	5	4923519,727			
		Steel kolom (utama)	1,08	416,7	25	11250,9			
		Steel kolom (Sengkang)	0,11	171,9	25	472,725			
		Steel sloof (utama)	0,83	480,52	25	9970,79			
		Steel sloof (Sengkang)	0,12	303,83	25	911,49			
		steel plat (pokok)	2,74	112,01	25	7672,685			
		steel plat (distribusi)	0,63	115,365	25	1816,99875			
		Aluminium (Pintu)	0,0038	59619,75	159	36022,25295			
		frame (pintu)	0,0189	0,001	50	0,000945			
		panel (pintu)	0,078	0,001	50	0,0039			
		Wood (pintu)	1,62	10239,99	18,5	306892,5003			
		Glass (pintu)	0,295	7259	18,5	39615,9925			
2	Non Struktur	glass (jendela)	0,22	43559,22	18,5	177286,0254	223367659,8	61,89	
		Panel Aluminium (Jendela)	0,34	0,14	121	5,7596			
		dinding kaca	6,69	629195,49	18,5	77872379,82			
		Floor (kramik)	15,65	3395,65	10	531419,225			
		Concrete (dinding)	410,34	52040,2	2,5	53385439,17			
		Brick (dinding)	161,89	187199,5	3	90917181,17			
		tangga	8,12	4813,06	2,595	101417,9125			

Tabel 4. Perhitungan *Embodied Energy* Pada Revit Lantai 2

No	Struktur/Non Struktur	Nama Material	Volume (m ³)	Berat Unit (Kg/m ³)	Koefisien EE (MJ/Kg)	Total EE (MJ)	Total Struktur dan Non Struktur	Total	%
1	Struktur	Concrete (kolom)	47,04	115554,24	5	27178357,25	136442585,3	323211674,3	42,21
		Concrete (balok)	53,46	178144,42	5	47618003,47			
		concrete (plat)	78,59	2406,53	5	945645,9635			
		Steel (WF Balok)	4,86	415993,23	30	60651812,93			
		Steel kolom (utama)	1,48	473,91	25	17534,67			
		Steel kolom (Sengkang)	0,09	210,11	25	472,7475			
		Steel balok (utama)	1,03	538,09	25	13855,8175			
		Steel balok (Sengkang)	0,06	289	25	433,5			
		steel plat (pokok)	2,42	219,644	25	13288,462			
		steel plat (distribusi)	0,53	240,04	25	3180,53			
		Aluminium (Pintu)	0,0052	97559,31	159	80662,03751			
		frame (pintu)	0,01	0,001	50	0,0005			
		panel (pintu)	0,08	0,001	50	0,004			
		Wood (pintu)	2,92	18431,37	18,5	995662,6074			
2	Non Struktur	glass (jendela)	0,22	43559,22	18,5	177286,0254	186769089	57,79	
		Panel Aluminium (Jendela)	0,34	0,14	121	5,7596			
		dinding kaca	6,28	672757,77	18,5	78160997,72			
		Floor (kramik)	13,66	3395,65	10	463845,79			
		Concrete (dinding)	47,53	18803,57	2,5	2234334,205			
		Brick (dinding)	190,13	183304,19	3	104554876,9			
		tangga	8,12	4813,06	2,595	101417,9125			

Tabel 5. Perhitungan *Embodied Energy* Pada Revit Lantai 3

No	Struktur/Non Struktur	Nama Material	Volum e (m3)	Berat Unit (Kg/m3)	Koefisien EE (MJ/Kg)	Total EE (MJ)	Total Struktur dan Non Struktur	Total	%
1	Struktur	Concrete (kolom)	48,36	120367,3	5	29104813,14	139891965,4	357104258,6	39,17
		Concrete (balok)	56,56	182957,48	5	51740375,34			
		concrete (plat)	91,55	4813,06	5	2203178,215			
		Steel (WF Balok)	4,73	400299,8	30	56802541,62			
		Steel kolom (utama)	0,84	492,83	25	10349,43			
		Steel kolom (Sengkang)	0,09	214,55	25	482,7375			
		Steel balok (utama)	1,02	512,352	25	13064,976			
		Steel balok(Sengkang)	0,06	289	25	433,5			
		steel plat (pokok)	2,75	197,33	25	13566,4375			
		steel plat (distribusi)	0,59	214,24	25	3160,04			
2	Non Struktur	Aluminium (Pintu)	0,0022	40649,97	159	14219,35951	217212293,2	60,83	
		frame (pintu)	0,12	0,05	50	0,3			
		panel (pintu)	0,47	0,05	50	1,175			
		Wood (pintu)	1,21	7679,48	18,5	171905,1598			
		Glass (pintu)	0,26	21779,1	18,5	104757,471			
		glass (jendela)	0,32	53239,8	18,5	315179,616			
		Panel Aluminium (Jendela)	0,43	0,17	121	8,8451			
		dinding kaca	7,99	716320,05	18,5	105882848,2			
		Floor (kramik)	15,11	3395,65	10	513082,715			
		Concrete (dinding)	425,68	37066,68	2,5	39446360,86			
		Brick (dinding)	158,94	148195,36	3	70662511,56			
		tangga	8,12	4813,06	2,595	101417,9125			

Tabel 6. Perhitungan *Embodied Energy* Pada Revit Lantai 4

No	Struktur/Non Struktur	Nama Material	Volum e (m3)	Berat Unit (Kg/m3)	Koefisien EE (MJ/Kg)	Total EE (MJ)	Total Struktur dan Non Struktur	Total	%
1	Struktur	Concrete (kolom)	47,04	115554,24	5	27178357,25	149261226,3	362984201,3	41,12
		Concrete (balok)	55,23	180550,95	5	49859144,84			
		concrete (plat)	86,84	2406,53	5	1044915,326			
		Steel (WF Balok)	5,3	447390,29	30	71135056,11			
		Steel kolom (utama)	0,65	641,08	25	10417,55			
		Steel kolom (Sengkang)	0,09	210,11	25	472,7475			
		Steel balok (utama)	1,08	519,97	25	14039,19			
		Steel balok(Sengkang)	0,06	308,67	25	463,005			
		steel plat (pokok)	2,69	220,74	25	14844,765			
		steel plat (distribusi)	0,57	246,701	25	3515,48925			
2	Non Struktur	Aluminium (Pintu)	0,0054	100269,62	159	86091,49573	213722975	58,88	
		frame (pintu)	0,06	0,02	50	0,06			
		panel (pintu)	0,2	0,02	50	0,2			
		Wood (pintu)	3	18943,93	18,5	1051388,115			
		glass (jendela)	0,32	53239,8	18,5	315179,616			
		Panel Aluminium (Jendela)	0,43	0,17	121	8,8451			
		dinding kaca	8,31	716320,05	18,5	110123462,9			
		Floor (kramik)	15,15	3395,65	10	514440,975			
		Concrete (dinding)	48,28	17600,3	2,5	2124356,21			
		Brick (dinding)	193,1	171597,84	3	99406628,71			
		tangga	8,12	4813,06	2,595	101417,9125			

Tabel 7. Perhitungan *Embodied Energy* Pada Revit Lantai 5

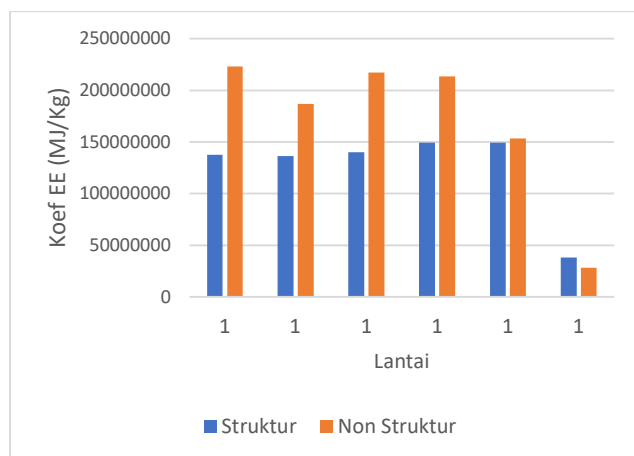
No	Struktur/Non Struktur	Nama Material	Volume (m ³)	Berat Unit (Kg/m ³)	Koefisien EE (MJ/Kg)	Total EE (MJ)	Total Struktur dan Non Struktur	Total	%
1	Struktur	Concrete (kolom)	47,04	115554,24	5	27178357,25	149259772,7	302467123,7	49,35
		Concrete (balok)	55,23	180550,95	5	49859144,84			
		concrete (plat)	86,84	2406,53	5	1044915,326			
		Steel (WF Balok)	5,3	447390,29	30	71135056,11			
		Steel kolom (utama)	0,55	757,64	25	10417,55			
		Steel kolom (Sengkang)	0,09	210,11	25	472,7475			
		Steel balok (utama)	1,04	486,34	25	12644,84			
		Steel balok(Sengkang)	0,06	269,166	25	403,749			
		steel plat (pokok)	2,69	220,74	25	14844,765			
		steel plat (distribusi)	0,57	246,7	25	3515,475			
		Aluminium (Pintu)	0,0054	100269,62	159	86091,49573			
		frame (pintu)	0,06	0,02	50	0,06			
		panel (pintu)	0,2	0,02	50	0,2			
		Wood (pintu)	3	18943,93	18,5	1051388,115			
2	Non Struktur	glass (jendela)	0,29	53239,8	18,5	285631,527	153207351,1	50,65	
		Panel Aluminium (Jendela)	0,4	0,17	121	8,228			
		dinding kaca	5,62	479154,45	18,5	49817688,17			
		Floor (kramik)	15,11	3395,65	10	513082,715			
		Concrete (dinding)	75,8	16998,67	2,5	3221247,965			
		Brick (dinding)	199,7	163797,02	3	98130794,68			
		tangga	8,12	4813,06	2,595	101417,9125			

Tabel 8. Perhitungan *Embodied Energy* Pada Revit Lantai 6

No	Struktur/Non Struktur	Nama Material	Volume (m ³)	Berat Unit (Kg/m ³)	Koefisien EE (MJ/Kg)	Total EE (MJ)	Total Struktur dan Non Struktur	Total	%
1	Struktur	Concrete (kolom)	16,9	105917,92	5	8950064,24	38366302,57	66408571,99	57,77
		Concrete (balok)	31,25	187770,54	5	29339146,88			
		concrete (plat)	4,74	2406,53	5	57034,761			
		Steel kolom (utama)	0,24	1630,91	25	9785,46			
		Steel kolom (Sengkang)	0,03	578	25	433,5			
		Steel balok (utama)	0,47	720,02	25	8460,235			
		Steel balok(Sengkang)	0,1	303,4	25	758,5			
		steel plat (pokok)	0,14	143	25	500,5			
		steel plat (distribusi)	0,03	158	25	118,5			
2	Non Struktur	Atap	6,36	7849,97	45	2246661,414	28042269,41	42,23	
		talang	278,45	1200	77,2	25795608			

Tabel 9. Rekapitulasi Perhitungan *Embodied Energy* Pada Revit Total Dari Semua Lantai

Lantai	Struktur/Non Struktur	Total Koefisien EE (MJ/Kg)	Total	Presentase
1	Struktur	137521122,7	1773064612,50	42,34
	Non Struktur	223367659,8		
2	Struktur	136442585,3		
	Non Struktur	186769089		
3	Struktur	139891965,4		57,66
	Non Struktur	217212293,16		
4	Struktur	149261226,3		
	Non Struktur	213722975		
5	Struktur	149259772,7		
	Non Struktur	153207351,1		
6	Struktur	38366302,57		Non Struktur
	Non Struktur	28042269,41		

**Gambar 4.** Rekapitulasi Nilai *Embodied Energy* Antar Lantai

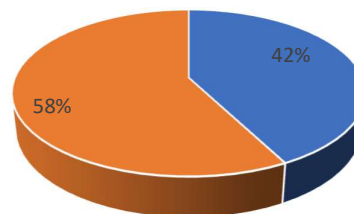
Gambar 4 menampilkan rekapitulasi presentasi antar lantai, pada arah x menampilkan lantai berapa dan pada arah y menampilkan besarnya nilai koefisien EE.

Gambar 5 menampilkan distribusi presentase *embodied energy* (EE) dalam bangunan, dengan bagian struktur menyumbang 42,34% dari total EE dan bagian non-struktur menyumbang 57,66%. Presentase ini menunjukkan bahwa bagian non-struktur, seperti dinding, jendela, pintu, tangga, memiliki kontribusi yang lebih besar terhadap total *embodied energy* dibandingkan dengan bagian struktur utama seperti kolom, balok, rangka, dan plat. EE pada non struktur lebih besar karena bahan dari non struktur memiliki nilai EE yang

tinggi, bisa dilihat pada aluminium angka EE sebesar 121 MJ/Kg. Diagram ini membantu dalam mengidentifikasi area yang memerlukan perhatian lebih dalam upaya mengurangi energi yang terkandung dan dampak lingkungan dari proyek konstruksi.

Presentase total Embodied Energy

■ Struktur ■ Non Struktur

**Gambar 5.** Presentase Total *Embodied Energy* Semua Lantai

4. Simpulan

Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa pemahaman dan pengelolaan embodied energy (EE) dalam konstruksi bangunan sangat penting untuk mengurangi dampak lingkungan. Analisis yang dilakukan mengungkapkan bahwa bagian struktur bangunan menyumbang 42,34% dari total EE, sementara bagian non-struktur menyumbang 57,66%.

Persentase ini menyoroti perlunya fokus yang lebih besar pada pengurangan EE di bagian non-struktur, yang mencakup elemen seperti dinding, jendela, dan atap. Oleh karena itu, pemilihan material yang lebih ramah lingkungan dan efisien energi, serta inovasi dalam desain dan teknik konstruksi, dapat menjadi strategi efektif dalam mengurangi emisi karbon dan meningkatkan keberlanjutan dalam industri konstruksi. Hasil penelitian ini menegaskan pentingnya pendekatan holistik dalam perencanaan dan pembangunan gedung untuk mencapai tujuan keberlanjutan jangka panjang.

Daftar Pustaka

- [1] L. Ma, "Bim-based Life Cycle Assessment of Embodied Energy and Environmental Impacts of High-rise Buildings: A Literature Review," *International Journal of High-Rise Buildings*, vol. 12, no. 2, pp. 163–168, 2023, doi: 10.21022/IJHRB.2023.12.2.163.
- [2] T. Kumari, U. Kulathunga, T. Hewavitharana, and N. Madusanka, "Embodied carbon reduction strategies for high-rise buildings in Sri Lanka," *International Journal of Construction Management*, vol. 22, no. 13, pp. 2605–2613, 2022, doi: 10.1080/15623599.2020.1814939.
- [3] L. Ma, R. Azari, and M. Elnimeiri, "Bim-Based Life Cycle Assessment of Embodied Carbon and Environmental Impacts of High-Rise Building Structures: A Case Study," 2023, doi: 10.20944/preprints202311.0485.v1.
- [4] D. Pemanasan Global Terhadap Pembangunan Berkelanjutan Dalam Novel Dunia Anna Karya Jostein Gaarder Dinar Shafa Choirunisa, S. Khansa Cahyaningtyas, and E. Dwi Kurniawan, "Volume 1 ; Nomor 6," *Desember*, pp. 175–178, 2023, doi: 10.59435/gjmi.v1i6.176.
- [5] A. AlJaber, E. Alasmari, P. Martinez-Vazquez, and C. Baniotopoulos, "Life Cycle Cost in Circular Economy of Buildings by Applying Building Information Modeling (BIM): A State of the Art," Jul. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/buildings13071858.
- [6] Y. L. Li, M. Y. Han, S. Y. Liu, and G. Q. Chen, "Energy consumption and greenhouse gas emissions by buildings: A multi-scale perspective," *Build Environ*, vol. 151, pp. 240–250, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.11.003.
- [7] E. Avdeeva, T. Averina, and L. Kochetova, "Life quality and living standards in big cities under conditions of high-rise construction development," in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Mar. 2018. doi: 10.1051/e3sconf/20183303013.
- [8] J. Goggins, T. Keane, and A. Kelly, "The assessment of embodied energy in typical reinforced concrete building structures in Ireland," *Energy Build*, vol. 42, no. 5, pp. 735–744, May 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2009.11.013.
- [9] J. Anderson and A. Moncaster, "Embodied carbon, embodied energy and renewable energy: a review of environmental product declarations," *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings*, vol. 176, no. 12, pp. 986–997, Apr. 2022, doi: 10.1680/jstbu.21.00160.
- [10] M. K. Dixit, J. L. Fernández-Solis, S. Lavy, and C. H. Culp, "Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper," Aug. 2012. doi: 10.1016/j.rser.2012.03.021.
- [11] A. Primasetra and D. Larasati, "Development of the Life Cycle Analysis (LCA) Method in calculating Embodied Energy Materials on Residential Buildings," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, Apr. 2021. doi: 10.1088/1755-1315/738/1/012014.
- [12] A. M. Moncaster and K. E. Symons, "A method and tool for 'cradle to grave' embodied carbon and energy impacts of UK buildings in compliance with the new TC350 standards," *Energy Build*, vol. 66, pp. 514–523, 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.07.046.
- [13] A. Alqatawna, S. Sánchez-Cambronero, I. Gallego, and A. Rivas, "BIM-centered high-speed railway line design for full infrastructure lifecycle," *Autom Constr*, vol. 156, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.autcon.2023.105114.
- [14] Y. Celik, I. Petri, and Y. Rezgui, "Integrating BIM and Blockchain across construction lifecycle and supply chains," *Comput Ind*, vol. 148, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.compind.2023.103886.
- [15] M. Alzara, A. M. Yosri, A. Alruwaili, E. Cuce, S. M. Eldin, and A. Ehab, "Dynamo script and a BIM-based process for measuring embodied carbon in buildings during the design phase," *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol. 18, pp. 943–955, 2023, doi: 10.1093/ijlct/ctad053.
- [16] G. P. Hammond and C. I. Jones, "Embodied energy and carbon in construction materials," *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Energy*, vol. 161, no. 2, pp. 87–98, 2008, doi: 10.1680/ener.2008.161.2.87.
- [17] R. S. Agustiningtyas, H. Takaguchi, A. B. Prasetya, and T. Kubota, "Embodied energy and carbon

assessment of existing affordable apartments in
Indonesia,” *Journal of Asian Architecture and*

Building Engineering, 2023, doi: 10.1080/13467581.
2023.2278481.