



LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) PEKERJAAN BALOK DAN PLAT LANTAI BETON DI PROYEK APARTEMEN SAMAVIEW DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE SIMAPRO

Annisa Rizky Alfiani¹, Dian Ariestadi²

¹Universitas Negeri Malang, annisa.rizky.2105236@students.um.ac.id

²Universitas Negeri Malang, dian.ariestadi.ft@um.ac.id

Abstrak: Sektor konstruksi berkontribusi besar terhadap emisi gas rumah kaca, terutama pada penggunaan beton *readymix* untuk balok dan plat lantai di gedung tinggi seperti Apartemen Samaview, dengan penggunaan alat berat seperti *truck mixer*, *tower crane*, dan *vibrator* menjadi sumber emisi karbon yang penting selama proses konstruksi. Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak lingkungan penggunaan beton pada balok dan plat lantai menggunakan metode *Life Cycle Assessment (LCA)* dengan pendekatan *gate-to-gate* melalui *software* SimaPro, serta membandingkan kategori dampak lingkungan antara lantai 8, 9, dan 10 berdasarkan hasil *single score*. Metodologi penelitian melibatkan pengumpulan data sekunder dari kontraktor dan *batching plant*, perhitungan konsumsi energi peralatan yang digunakan selama konstruksi, serta analisis dampak lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material beton K-350 memberikan kontribusi dampak lingkungan terbesar (76%-96,8%) pada ketiga kategori (*Human Health*, *Ecosystems*, dan *Resources*), dengan pola penurunan seiring peningkatan ketinggian lantai, sementara kontribusi *tower crane* menunjukkan tren peningkatan yang berarti dari lantai 8 ke lantai 10, terutama pada kategori *Human Health*. Pola ini mencerminkan adanya *trade-off* antara penggunaan material dan energi pada berbagai ketinggian konstruksi, dimana peningkatan kebutuhan energi listrik *tower crane* untuk mengangkat material ke lantai yang lebih tinggi menggeser proporsi dampak lingkungan dari dominasi material beton ke peralatan konstruksi.

Kata kunci: *Life Cycle Assessment*, *Gate to Gate*, *Software* SimaPro, Balok dan Plat Lantai, Beton K-350

1. PENDAHULUAN

Sektor konstruksi di Indonesia terus berkembang akibat urbanisasi, dorongan pertumbuhan ekonomi, dan perkembangan teknologi (Kimsan, 2023). Namun, sektor ini juga menjadi kontributor utama dalam masalah lingkungan. *International Energy Agency* melaporkan sektor konstruksi menyumbang 23,3% emisi gas rumah kaca, dengan konstruksi gedung tinggi yang menggunakan volume beton besar menjadi penyumbang yang dominan.

Produksi semen portland berkontribusi sekitar 8% dari total emisi karbon dioksida global, mencakup 2/3 dari total emisi di sektor konstruksi (House, 2020). Penelitian ini berfokus pada tiga alat utama dalam konstruksi balok dan plat lantai *diantaranya* *truck mixer*, *tower crane*, dan *vibrator*, yang dipilih karena intensitas penggunaan dan dampak emisi kumulatif yang tinggi (Sujanadi, Ashari, & Suparjo, 2014). *Tower crane* menjadi sumber utama konsumsi energi listrik pada tahap konstruksi di lokasi proyek (Birgitta & Handoyo, 2019).

Apartemen Samaview di Kabupaten Malang dipilih sebagai objek penelitian karena mencerminkan kompleksitas konstruksi modern sebagai bangunan 13 lantai. Fokus pada balok dan plat lantai dipilih karena volume beton yang lebih besar dan frekuensi pengecoran yang lebih tinggi dibandingkan elemen struktural lainnya, sehingga berkontribusi lebih besar terhadap emisi karbon (Ardiansyah & Chairunnisa, 2024).

Penelitian ini secara khusus meninjau lantai 8, 9, dan 10 yang memiliki karakteristik representatif untuk analisis.

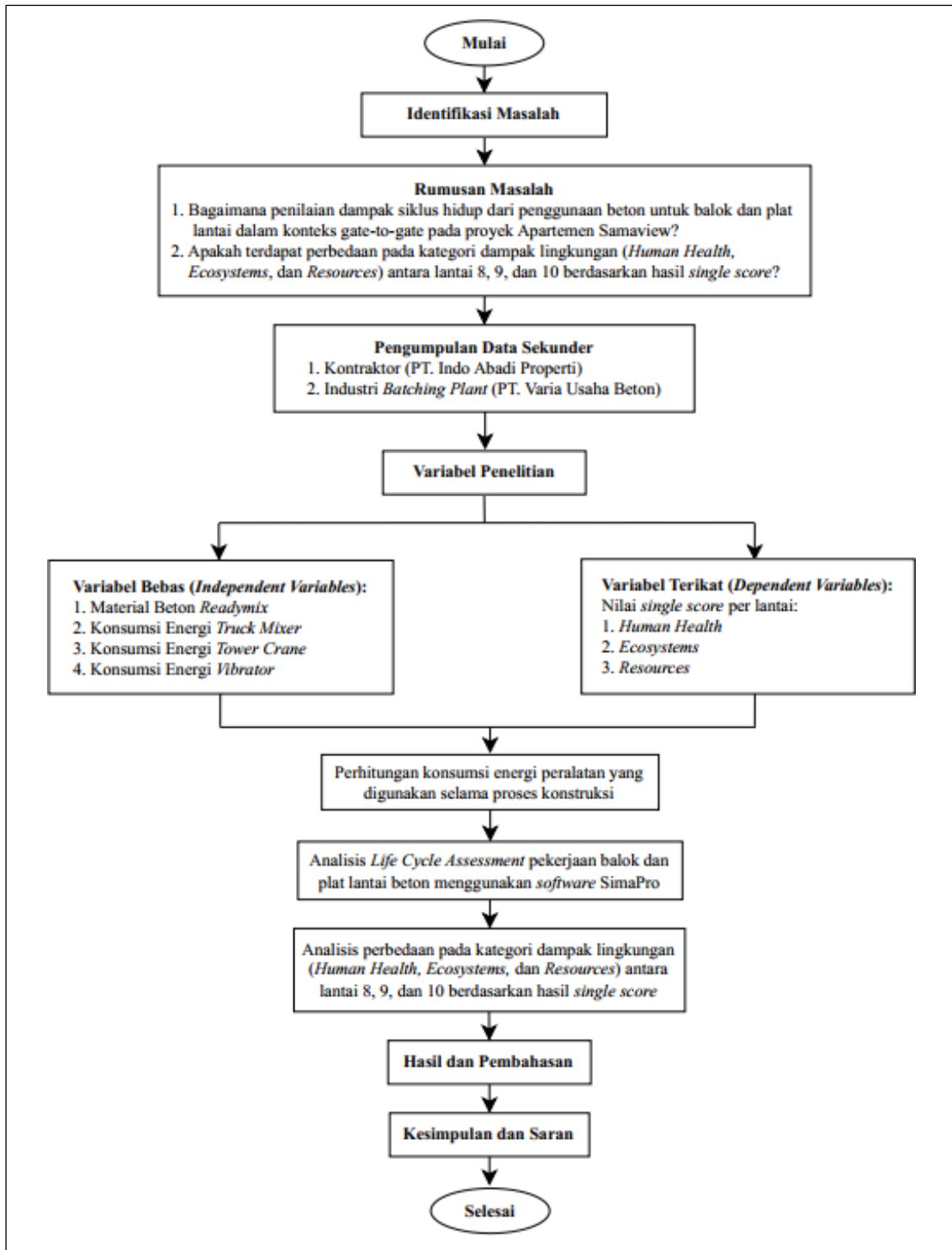
Metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dipilih untuk evaluasi dampak lingkungan, memberikan gambaran lengkap dari ekstraksi sumber daya hingga pembuangan akhir (Martino, 2019). Penelitian mengadopsi pendekatan *gate-to-gate*, mencakup proses dari distribusi beton *readymix* hingga pengaplikasiannya dalam konstruksi. Pendekatan ini dipilih karena penelitian berfokus pada sub-proses konstruksi beton dalam siklus hidup bangunan (Pahlevi, 2023).

Penelitian ini hanya meninjau material beton tanpa tulangan karena sesuai dengan pendekatan *gate-to-gate* dan fokus pada dampak lingkungan dari proses transportasi, penanganan, dan pengecoran beton. LCA diimplementasikan melalui empat tahapan diantaranya, penetapan tujuan dan cakupan, inventarisasi siklus hidup, penilaian dampak siklus hidup, serta interpretasi hasil menggunakan *software* SimaPro yang dipilih karena kemampuannya dalam pemodelan dampak lingkungan penggunaan beton (Martino, 2019). *Software* SimaPro menyediakan data komprehensif mengenai dampak lingkungan dari berbagai proses industri (Arba & Thamrin, 2022).

Analisis dampak difokuskan pada tiga kategori utama yaitu *Human Health* (kesehatan manusia), *Ecosystems* (ekosistem), dan *Resources* (sumber daya). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penilaian dampak siklus hidup dari penggunaan beton untuk balok dan plat lantai dalam konteks *gate-to-gate* pada proyek Apartemen Samaview menggunakan *software* SimaPro, serta mengidentifikasi perbedaan pada kategori dampak lingkungan (*Human Health*, *Ecosystems*, dan *Resources*) antara lantai 8, 9, dan 10 berdasarkan hasil *single score*, sehingga dapat memberikan pemahaman komprehensif untuk pengembangan strategi mitigasi dampak lingkungan yang lebih efektif di sektor konstruksi Indonesia.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan rancangan sistematis untuk menganalisis emisi CO₂ dari distribusi dan penggunaan beton pada struktur balok dan plat lantai serta mengidentifikasi faktor-faktor dominan terhadap dampak *Global Warming Potential* (GWP) dengan pendekatan LCA *gate-to-gate*. Tahapan penelitian meliputi: (1) identifikasi masalah emisi gas rumah kaca dari penggunaan alat berat pada konstruksi, (2) perumusan masalah tentang dampak siklus hidup beton dan perbedaan dampak lingkungan antar lantai, (3) pengumpulan data sekunder dari PT. Indo Abadi Properti berupa *Detailed Engineering Design* (DED) seperti denah dan detail balok dan plat lantai 8 s.d. 10, *zoning area/site plan*, spesifikasi material (RKS), time schedule, dan volume beton balok dan plat lantai untuk proyek Apartemen Samaview, serta dari PT. Varia Usaha Beton (berjarak ±26 km dari lokasi proyek) mengenai detail peralatan *truck mixer* yang digunakan, kebutuhan dan konsumsi bahan bakar selama pengangkutan, pola pergerakan kendaraan, serta jadwal keberangkatan dan kedatangan *truck mixer*, (4) pengolahan data meliputi perhitungan konsumsi energi *truck mixer*, *tower crane*, dan vibrator serta analisis *Life Cycle Assessment* menggunakan *software* SimaPro dan analisis deskriptif untuk mengetahui perbedaan dampak lingkungan (*Human Health*, *Ecosystems*, dan *Resources*) antara lantai 8, 9, dan 10, dan (5) pembahasan hasil dan penarikan kesimpulan untuk mengurangi dampak lingkungan konstruksi beton.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL

3.1 Volume Beton Balok dan Plat Lantai

Berdasarkan data sekunder, volume beton untuk pengecoran balok dan plat lantai zona 2 adalah 78,36 m³. Dengan penambahan *waste factor* 5% menjadi 82,5 m³ untuk mengantisipasi material terbuang selama proses distribusi dan penggunaan peralatan, Jumlah pesanan sedikit lebih besar dari perhitungan aktual untuk memastikan kecukupan material di lapangan.

3.2 Konsumsi Energi dari Peralatan yang Digunakan Selama Proses Konstruksi

Berikut merupakan data hasil dari perhitungan konsumsi energi dari peralatan yang digunakan untuk pekerjaan balok dan plat lantai di zona 2 lantai 8, 9, dan 10 yang akan diinput ke dalam *software* SimaPro untuk dilakukan analisis *Life Cycle Assessment*.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Konsumsi Energi Peralatan yang Digunakan

Peralatan	Satuan	Lantai 8	Lantai 9	Lantai 10
<i>Truck Mixer</i>	MJ/tkm	27,79	28,37	29,32
<i>Tower Crane</i>	kWh	633,02	688,58	746,32
<i>Vibrator</i>	kWh	12,81	12,81	12,94

Sumber: Penulis (2025)

3.3 *Life Cycle Assessment* (LCA) Struktur Balok dan Plat Lantai Menggunakan *Software* SimaPro

Hasil *single score* yang diperoleh dari analisis ini merupakan hasil akhir analisis LCA yang mengintegrasikan berbagai kategori dampak lingkungan menjadi satu nilai tunggal sebagai indikator keseluruhan dampak lingkungan dari struktur yang diteliti.

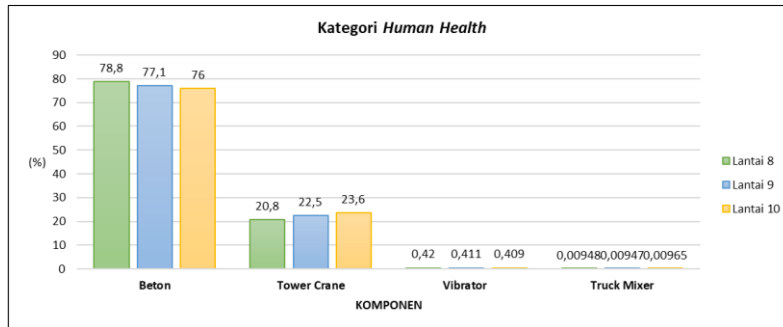
Tabel 2. Rekapitulasi Hasil *Single Score*

No	Keterangan	Satuan	Kategori Dampak		
			<i>Human Health</i>	<i>Ecosystems</i>	<i>Resources</i>
1.	Lantai 8				
	Beton K-350	%	78,8	96,8	96
	<i>Truck Mixer</i>	%	0,00948	0,0106	0,0342
	<i>Tower Crane</i>	%	20,8	3,09	3,92
	<i>Vibrator</i>	%	0,42	0,0626	0,0793
	Total	%	100	100	100
2.	Lantai 9				
	Beton K-350	%	77,1	96,5	95,6
	<i>Truck Mixer</i>	%	0,00947	0,0108	0,0347
	<i>Tower Crane</i>	%	22,5	3,41	4,32
	<i>Vibrator</i>	%	0,411	0,0624	0,079
	Total	%	100	100	100
3.	Lantai 10				
	Beton K-350	%	76	96,3	95,3
	<i>Truck Mixer</i>	%	0,00965	0,0112	0,0358
	<i>Tower Crane</i>	%	23,6	3,63	4,59
	<i>Vibrator</i>	%	0,409	0,0629	0,0796
	Total	%	100	100	100

Sumber: Penulis (2025)

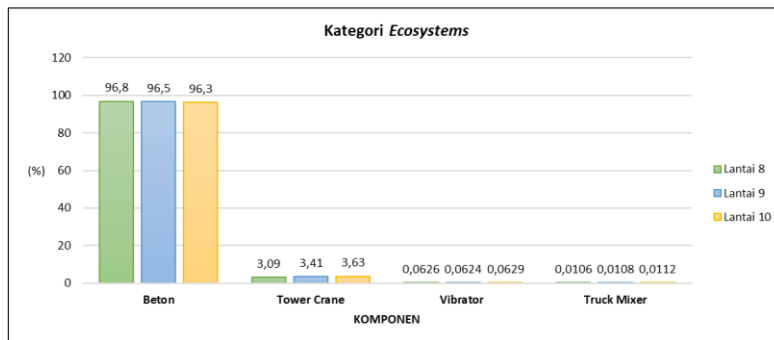
3.4 Analisis Perbedaan Kategori Dampak Lingkungan (*Human Health, Ecosystems, dan Resources*) Antara Lantai 8, 9, dan 10 Berdasarkan Hasil *Single Score*

Berdasarkan hasil analisis penilaian siklus hidup (LCA) pada struktur balok dan pelat lantai 8, 9, dan 10, material beton K-350 memberikan kontribusi dampak lingkungan terbesar dengan nilai 76%-96,8% dari total dampak keseluruhan. Diagram jaringan (*network flow*) menunjukkan besarnya kontribusi dampak melalui ketebalan garis merah yang menghubungkan proses-proses terkait penggunaan beton pada lokasi proyek.



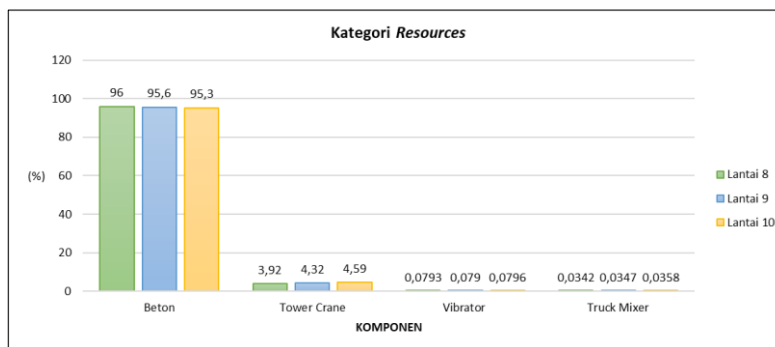
Gambar 2. Diagram Perbedaan Kategori *Human Health*

Pada kategori dampak *Human Health* yang diukur dengan indikator DALY (*Disability-Adjusted Life Years*), kontribusi beton K-350 menunjukkan tren penurunan seiring peningkatan ketinggian lantai: 78,8% (lantai 8), 77,1% (lantai 9), dan 76% (lantai 10). Sebaliknya, *tower crane* menunjukkan tren peningkatan kontribusi yang substansial dan konsisten: 20,8% (lantai 8), 22,5% (lantai 9), hingga 23,6% (lantai 10). *Truck mixer* memberikan kontribusi sangat kecil namun konsisten: 0,00948% (lantai 8), 0,00947% (lantai 9), 0,00965% (lantai 10). *Vibrator* menunjukkan pola penurunan: 0,42% (lantai 8), 0,411% (lantai 9), dan 0,409% (lantai 10).



Gambar 3. Diagram Perbedaan Kategori *Ecosystems*

Kategori dampak *Ecosystems* diukur dengan indikator PDF·m²·yr (*Potentially Disappeared Fraction of species*). Beton K-350 mendominasi dengan persentase sangat tinggi meski ada sedikit penurunan: 96,8% (lantai 8), 96,5% (lantai 9), dan 96,3% (lantai 10). *Tower crane* menunjukkan pola peningkatan konsisten: 3,09% (lantai 8), 3,41% (lantai 9), dan 3,63% (lantai 10). *Truck mixer* menunjukkan tren peningkatan: 0,0106% (lantai 8), 0,0108% (lantai 9), hingga 0,0112% (lantai 10). *Vibrator* memperlihatkan pola fluktuatif: 0,0626% (lantai 8), 0,0624% (lantai 9), dan 0,0629% (lantai 10).



Gambar 4. Diagram Perbedaan Kategori Resources

Pada kategori dampak Resources yang diukur dengan indikator surplus energi, beton K-350 juga sangat dominan dengan pola penurunan konsisten: 96% (lantai 8), 95,6% (lantai 9), dan 95,3% (lantai 10). Tower crane menunjukkan peningkatan kontribusi: 3,92% (lantai 8), 4,32% (lantai 9), hingga 4,59% (lantai 10). Truck mixer memberikan kontribusi dengan tren peningkatan: 0,0342% (lantai 8), 0,0347% (lantai 9), dan 0,0358% (lantai 10). Vibrator menunjukkan pola fluktuatif: 0,0793% (lantai 8), 0,0791% (lantai 9), dan 0,0796% (lantai 10).

4. PEMBAHASAN

4.1 Waste Factor Volume Beton Balok dan Plat Lantai

Proyek Apartemen Samaview menerapkan waste factor 5% pada volume beton 78,36 m³ menjadi 82,5 m³, dengan kelebihan dimanfaatkan untuk pengujian slump, deck beton untuk komponen struktur lain, perbaikan area stop cor, dan jalan akses. Penyebab lain dari waste berupa kualitas beton tidak layak, ketebalan bertambah, sisa tidak tertuang, dan terbuang saat penghamparan (BM & Waty, 2024). Faktor penyebab lainnya yaitu gambar desain tidak lengkap, spesifikasi material yang tidak detail, kondisi peralatan kurang optimal, dan pengendalian jadwal buruk (Waty & Sulistio, 2020).

Waste factor 5% sesuai SNI 7832:2012, namun studi Waty dan Sulistio (2020) pada proyek gedung bertingkat di Jakarta mencapai 9,06% akibat perubahan desain dan gambar rumit. Studi Yuliana dkk (2024) menyebutkan pembangunan rumah susun di Kalimantan Selatan mencatat kontribusi waste beton readymix mencapai 7,3% pada karena lokasi sempit dan kesalahan manajemen. Geraldi dan Sulistio (2020) melaporkan rata-rata waste factor beton pada proyek low rise building di Jakarta sekitar 4,38%, menunjukkan waste factor dapat diminimalkan dengan manajemen yang baik. Penambahan volume beton akibat waste factor meningkatkan dampak lingkungan dari penggunaan material beton. Setiap meter kubik beton tambahan berkontribusi pada peningkatan emisi karbon, konsumsi energi, dan ekstraksi material mentah. Strategi efektif untuk meminimalisir waste factor adalah perencanaan mix design yang tepat.

4.2 Faktor yang Mempengaruhi Konsumsi Energi Peralatan yang Digunakan Selama Proses Konstruksi

Durasi idle truck mixer paling berpengaruh terhadap konsumsi energi, dengan cycle time meningkat dari 658 menit (lantai 8) menjadi 810 menit (lantai 10), berbeda dengan temuan sebelumnya yang hanya mempertimbangkan konsumsi BBM kondisi normal tanpa memperhitungkan kondisi idle (Olanrewaju, 2020). Jawat dkk (2018) menyebutkan, peningkatan cycle time disebabkan faktor ketinggian dan aksesibilitas,

pengaruh siklus kerja, kondisi alat, dan metode. Faktor lainnya dapat berasal dari kecepatan pengadukan dan jumlah *truck mixer* (Faisal & Suryo, 2015). Durasi *idle* mencapai 907-1043 menit per lantai, dengan intensitas energi meningkat seperti pada **Tabel 1**. Melalui optimasi jarak dan kapasitas alat angkut dapat mengurangi emisi transportasi material hingga 49,6% (Noerinsky, 2023).

Sementara itu, merujuk pada **Tabel 1** konsumsi energi *tower crane* mengalami peningkatan, dengan *cycle time* dari 11,30 jam (lantai 8) menjadi 13,33 jam (lantai 10). Berat beban juga mempengaruhi konsumsi energi (Albar, 2018). Selisih waktu *swing* dan penuangan antar lantai ≤ 10 detik disebabkan perbedaan pola penuangan. Rony dkk (2023) menyebutkan variasi pola penuangan dapat mempengaruhi produktivitas *tower crane*. Selain itu, efisiensi dan efektivitas posisi *tower crane* dipengaruhi jarak antara titik pasokan dan lokasi penuangan (Utari, 2019). Komponen *hoisting* (selisih ≤ 15 detik) dan *lowering* (selisih ≤ 25 detik) paling terpengaruh faktor ketinggian. Konsumsi energi *tower crane* paling dominan dipengaruhi oleh komponen hoisting dan jarak vertikal (Sinurat, 2022). Faktor lainnya yaitu pengaruh kondisi alat dan manajemen (Nihayatun & Haryanto, 2014). Faktor cuaca, kondisi tanah, dan aksesibilitas Lokasi proyek juga berpengaruh (Zulkarnaen & Solikin, 2023).

Apabila ditinjau berdasarkan **Tabel 1**, konsumsi energi *vibrator* konsisten. Nur dkk (2020) menyebutkan konsumsi energi *vibrator* cenderung stabil pada kisaran 12-15 kWh per 80-85 m³ volume beton. Faktor utama adalah durasi operasional. Selain itu, Afriyanti dkk (2021) menyebutkan variasi kecepatan putaran pada pompa dapat mempengaruhi konsumsi energi dan frekuensi getaran. Li dkk (2022) menambahkan faktor lainnya yaitu mutu beton dan rasio air-semen. Beton K350 memerlukan pemadatan ± 2 menit per lantai. Durasi pemadatan beton K350 umumnya berkisar $\pm 2-5$ menit (Aldy, 2024). $\pm 3-6$ menit untuk beton K300 (Putra, 2021). Serta $\pm 4-7$ menit untuk beton K175 (Wahyudi, 2017). Jenis material dalam komponen *vibrator* dapat mempengaruhi kinerja dan konsumsi energi (Halim, 2022). Teknik pengoperasian oleh pekerja juga berpengaruh. Teknik insersi yang benar dapat mengurangi waktu pemadatan dan konsumsi energi *vibrator* (Falviana & Sulianti, 2012). Penggunaan *vibrator* menghasilkan emisi karbon yang perlu diperhitungkan dalam total jejak karbon proses konstruksi (Hong & Lu, 2022).

4.3 Life Cycle Assessment (LCA) Struktur Balok dan Plat Lantai

Diagram jaringan LCA menunjukkan material beton K-350 memberi dampak dominan dengan garis merah tebal, sedangkan konsumsi energi listrik terutama *tower crane* juga berkontribusi besar. Penggunaan *tower crane* dapat menjadi sumber utama konsumsi energi listrik (Birgitta & Handoyo, 2019). Penggunaan *vibrator* dalam waktu lama berdampak pada konsumsi energi meski relatif kecil (Hong & Lu, 2022). Hasil *single score* seperti **Tabel 2** menunjukkan beton K-350 menyumbang 70% emisi gas rumah kaca dalam konstruksi gedung bertingkat. Besarnya dampak disebabkan kandungan semen portland yang menghasilkan 0,8-1 ton CO₂ per ton semen (Huey & Wiedmann, 2017). Produksi semen berkontribusi sekitar 8% emisi CO₂ global dan 2/3 emisi sektor konstruksi (House, 2020). Dominasi beton disebabkan volume besar dan proses energi intensif. Melalui perencanaan logistik pengiriman beton efisien berbasis *Global Positioning System* (GPS) dapat meminimalkan dampak. Penggunaan *truck mixer*

dengan kapasitas sesuai kebutuhan proyek dapat menghindari pengangkutan berlebih (Mulyono & Prayogo, 2021).

Berdasarkan **Tabel 2**, *tower crane* menjadi kontributor kedua. *Tower crane* menyumbang 5-10% total dampak lingkungan tahap konstruksi (Teizer & Wandahl, 2022). *Truck mixer* menempati posisi ketiga, berbeda dengan penelitian lain yang menempatkan produksi material sebagai dampak terbesar (Noerinsky, 2023). Persentase kontribusi beton K-350 menurun seiring peningkatan ketinggian lantai, bukan karena dampak material berkurang, tapi karena peningkatan dampak komponen lain terutama *tower crane*.

Dalam konteks konsumsi energi dan emisi yang dihasilkan dalam ruang lingkup *gate-to-gate*, ketinggian lantai berpengaruh besar terhadap dampak lingkungan. *Tower crane* memerlukan lebih banyak energi untuk lantai lebih tinggi, dengan peningkatan durasi *cycle time* dari 11,30 jam (lantai 8) menjadi 13,33 jam (lantai 10). Sementara itu, perbedaan waktu siklus pengangkutan material dari lantai 1-7 dengan total 4647,533 jam (*crane A*) dan 4068,543 jam (*crane B*), mengindikasikan pengaruh penempatan *crane* dan ketinggian lantai (Fathoni, 2021). Pengadaan material untuk gedung tinggi berkontribusi terbesar pada emisi karbon (Prasetyo, 2021). *Truck mixer* beroperasi lebih lama untuk lantai lebih tinggi sesuai *cycle time tower crane*. Distribusi beton menggunakan *truck mixer* menghasilkan 64% dari keseluruhan dampak (Pahlevi, 2023). Terdapat perbedaan emisi karbon antara kota besar dan kecil terkait jarak transportasi material (Prasetyo, 2021).

4.4 Perbedaan Kategori Dampak *Human Health* Antara Lantai 8, 9, dan 10 Berdasarkan Hasil *Single Score*

Berdasarkan **Tabel 2**, kontribusi beton K-350 mengalami penurunan yang mengindikasikan bahwa proporsi dampak material konstruksi terhadap kesehatan manusia cenderung berkurang pada lantai yang lebih tinggi. Kontribusi *tower crane* meningkat dari 20,8% (lantai 8) menjadi 23,6% (lantai 10) yang menunjukkan bahwa operasional peralatan konstruksi menjadi faktor yang semakin dominan pada ketinggian yang lebih besar. Dampak *truck mixer* minimal (<0,01%) menunjukkan bahwa transportasi material ke lokasi proyek memiliki kontribusi yang relatif kecil terhadap dampak kesehatan manusia. Dampak *vibrator* menurun dari 0,42% (lantai 8) menjadi 0,409% (lantai 10) menunjukkan pola penurunan yang konsisten terhadap dampak kesehatan manusia seiring dengan kenaikan lantai. Meskipun volume beton sama pada ketiga lantai dengan desain tipikal, terdapat variasi dampak kesehatan manusia. Kontribusi material konstruksi terhadap *human toxicity* cenderung homogen pada lantai menengah (Dong, 2023). Alimudin dkk (2022) menyebutkan peningkatan gangguan kesehatan masyarakat seperti masalah pernapasan terjadi akibat polusi udara selama tahap konstruksi berlangsung.

4.5 Perbedaan Kategori Dampak *Ecosystems* Antara Lantai 8, 9, dan 10 Berdasarkan Hasil *Single Score*

Kategori *Ecosystems* didominasi oleh komponen beton K-350 dengan penurunan minimal seiring kenaikan lantai. Seperti **Tabel 2**, *tower crane* juga menunjukkan peningkatan pada kategori *Ecosystems*. Hal ini mengindikasikan bahwa dampak operasional peralatan konstruksi terhadap ekosistem relatif lebih rendah dibandingkan

dengan dampaknya terhadap kesehatan manusia. Selain itu, kontribusi *truck mixer* dan *vibrator* minimal ($<0,02\%$ dan $<0,07\%$), yang mengkonfirmasi bahwa proses transportasi material dan pemadatan beton memiliki dampak yang relatif kecil terhadap ekosistem dibandingkan dengan produksi material itu sendiri. Gedung tinggi memerlukan lebih banyak ruang dan material yang dapat mengganggu habitat alami dan mengurangi keanekaragaman hayati, serta menyebabkan perubahan penggunaan lahan yang berdampak pada ekosistem lokal (Restuningrat, 2023).

4.6 Perbedaan Kategori Dampak *Resources* Antara Lantai 8, 9, dan 10 Berdasarkan Hasil *Single Score*

Berdasarkan **Tabel 2**, komponen beton K-350 mendominasi dengan kontribusi $>95\%$ pada semua lantai, meskipun menurun dari 96% (lantai 8) menjadi $95,3\%$ (lantai 10). Kontribusi *tower crane* meningkat dari $3,92\%$ (lantai 8) menjadi $4,59\%$ (lantai 10), yang mengindikasikan bahwa konsumsi energi untuk mengoperasikan peralatan konstruksi di ketinggian yang lebih tinggi memberi tekanan yang semakin besar pada sumber daya. *Truck mixer* meningkat dari $0,0342\%$ (lantai 8) menjadi $0,0358\%$ (lantai 10), meskipun kecil, menunjukkan dampak yang meningkat dari proses transportasi material ke lantai yang lebih tinggi akibat peningkatan waktu tunggu atau kompleksitas logistik pada ketinggian yang lebih besar. Proses pengadaan dan penggunaan material dalam konstruksi gedung tinggi dapat meningkatkan emisi karbon secara substansial dan menghasilkan lebih banyak limbah konstruksi (Vafai, 2020).

5. SIMPULAN

Berdasarkan pembahasan diperoleh kesimpulan yaitu:

- 1) Beton K-350 menjadi kontributor dampak lingkungan tertinggi ($77,5\%$ *Human Health*, $96,53\%$ *Ecosystems*, $95,63\%$ *Resources*), diikuti *tower crane* ($22,3\%$ *Human Health*, $3,38\%$ *Ecosystems*, $4,28\%$ *Resources*), *vibrator*, dan *truck mixer* (kontributor terendah).
- 2) Terjadi peningkatan konsumsi energi seiring kenaikan elevasi lantai, terutama pada *tower crane* ($633,02$ kWh di lantai 8 menjadi $746,34$ kWh di lantai 10) dan *truck mixer* (*cycle time* 658 menit di lantai 8 menjadi 810 menit di lantai 10), menunjukkan pekerjaan di lantai lebih tinggi cenderung kurang efisien energi.
- 3) Dominasi dampak beton disebabkan oleh penggunaan semen dalam jumlah besar, *database* SimaPro yang mencakup seluruh dampak rantai pasok, dan volume beton yang besar. Perencanaan logistik pengiriman beton yang efisien sangat penting untuk meminimalkan dampak.
- 4) Tidak ditemukan perbedaan substansial dampak lingkungan antara lantai 8, 9, dan 10, meskipun ada peningkatan konsumsi energi peralatan. Hal ini sesuai penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa perbedaan krusial umumnya terjadi antara lantai dasar dengan lantai sangat tinggi (>20 lantai).

6. DAFTAR PUSTAKA

- Afriyanti, Y., Sasana, H., & Jalunggono, G. (2021, Maret 05). Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Konsumsi Energi Terbarukan di Indonesia. *DINAMIC: Directory Journal of Economic*, 2(3), 865-884.
- Albar, A. (2018, Januari). Perancangan Tower Crane dengan Tiang Menara Teleskopis Tenaga Hidrolik Kapasitas Angkat 8 Ton. *Jurnal Teknik Mesin - ITI*, 2(1), 16-20.

- Aldy, R. (2024, September 20). Analisis Perbedaan Beton Ready Mix Antara Mutu K dengan Mutu FC. *Era Sains: Journal of Science, Engineering and Information Systems Research*, 2(3), 1-14.
- Alimuddin, Rulhendri, Chayati, N., Hariati, F., & Herman. (2022). Analisis Dampak Lingkungan pada Pembangunan Gedung Puskesmas X, Kota Depok. *Seminar Nasional Rekayasa, Sains dan Teknologi* (pp. 106-115). Bogor: Universitas Ibn Khaldun Bogor.
- Arba, Y., & Thamrin, S. (2022, Juli 01). Perbandingan Permodelan Perangkat Lunak Life Cycle Assessment (LCA) untuk Teknologi Energi. *JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 3(2), 142-153.
- Ardiansyah, M., & Chairunnisa, N. (2024). Comparison Study of Design Shearwall Variations Placement on Moment Frame System and Dual Systems for Reinforced Concrete Buildings in Seismic Design Category Zone D. *CERUCUK*, 8(2), 69-82.
- Birgitta, D. K., & Handoyo. (2019, Desember). Identifikasi Besar Biaya Sumber Emisi CO2 Pekerjaan Pengecoran Struktur Beton Bertulang Pada Ruang Lingkup Gate To Gate. *G-SMART Jurnal Teknik Sipil*, 2(2), 97-100.
- BM, J., & Waty, M. (2024, April 25). Analisis Kerugian Proyek Konstruksi Jalan di DKI Jakarta Akibat (Waste) Material. *Jurnal Infrastruktur*, 10(2), 69-77.
- Dong, Y. (2023, May 6). Life Cycle Sustainability Assessment of Building Construction: A Case Study in China. *Sustainability*, 15(9). doi:<https://doi.org/10.3390/su15097655>
- Faisal, A., & Suryo, T. (2015, Juli). Estimasi Konsumsi Solar untuk Truck Mixer di PT Jokotole Transport Sub-Station Bali Dampai Tahun 2040 Menggunakan software Leap. *JTM: Jurnal Teknik Mesin*, 3(3), 245-254.
- Falviana, L., & Sulianti, I. (2012, Maret). Pengaruh Pematatan Beton Segar Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Pilar Jurusan Teknik Sipil*, 7(1).
- Fathoni, A. N. (2021). Pemiluhan Tower Crane Berdasarkan Efektivitas Waktu dan Biaya The Selection of Tower Crane Based On Time and Cost Effectiveness. *Repository Universitas Islam Indonesia*.
- Geraldi, L. A., & Sulistio, H. (2020, Februari 1). Studi Analisis Persentase Waste Besi Beton dan Fakto Penyebabnya pada Bangunan Bertingkat Rendah di Jakarta. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(1), 167-174.
- Halim, E. (2022). Pengaruh Variasi Kecepatan Putaran, Emisi Akustik, Vibrasi dan Daya Poros terhadap Konsumsi Energi Pompa. *Repository Universitas Brawijaya*.
- Hong, B., & Lu, L. (2022, April 28). Assessment of Emissions and Energy Consumption for Construction Machinery in Earthwork Activities by Incorporating Real-World Measurement and Discrete-Event Simulation. *Sustainability*, 14.
- House, C. (2020, December 14). Making Concrete Change Innovation in Low-carbon Cement and Concrete. *Cambridge: Latimer Trend*.
- Huey, S., & Wiedmann, T. (2017, May 20). Hybrid Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions From Cement, Concrete and Geopolymer Concrete in Australia. *Journal of Cleaner Production*, 152, 312-320. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.122>
- Jawat, I. W., Rahadiani, A. A., & Armaeni, N. K. (2018, Desember). Produktivitas Truck Concrete Pump dan Truck Mixer pada Pekerjaan Pengecoran Beton Ready Mix. *PADURAKSA*, 7(2), 164-184.

- Kimsan, M. (2023, November). Konstruksi Gedung & Dampak Lingkungan: A Review. *STABILITA Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 11(3), 184-191.
- Li, J., Tian, Z., & Sun, X. (2022, November 7). Modeling Vibration Energy Transfer of Fresh Concrete and Energy Distribution Visualization System. *Construction and Building Materials*, 354.
- Martino, B. (2019). Pendekatan Life Cycle Assessment (LCA) Kolom dan Balok pada Konstruksi Sebagai Perkiraan Dampak Pemanasan Global. 15-17.
- Mulyono, D., & Prayogo, D. (2021, April). Optimasi Supply Chain Ready Mix Concrete pada Perusahaan PT X di Surabaya Menggunakan Metode Metaheuristik. *Dimensi Utama Teknik Sipil*, 8(1), 35-49.
- Nihayatun, Z., & Haryanto, I. (2014). Perhitungan Produktivitas dan Estimasi Waktu Pengecoran Kolom Menggunakan Tower Crane. *Repository Universitas Gajah Mada*.
- Noerinsky, C. (2023, Mei 2). Kontribusi Gas Karbondioksida pada Pekerjaan Pengecoran Struktur Beton dengan Metode Life Cycle Assessment (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Gedung Research Center Upn “Veteran” Jawa Timur). *Repository Universitas Negeri Jember*. Retrieved from <https://repository.unej.ac.id/xmlui/handle/123456789/115711>
- Nur, A., Padma, Y., & Indradi. (2020). Life Cycle Assessment (LCA) Analysis of Concrete Slab Construction For Estimating The Environmental Impact. *Rekayasa Sipil*, 14(3), 232-237.
- Olanrewaju, I. (2020, September 16). Estimating On-Site Emissions During Ready Mixed Concrete (RMC) Delivery: A Methodology. *Elsevier*, 13.
- Pahlevi, M. R. (2023, September 09). Analisis Perhitungan Embodied Energy dan Emisi Karbon Struktur Kolom Dengan Teknik Life Cycle Assessment (LCA) Ruang Lingkup Gate To Construction Menggunakan Software OpenLCA Studi Kasus Proyek Gedung Fakultas Kedokteran gigi Universitas Brawijaya. *Repository Universitas Negeri Malang*.
- Prasetyo. (2021, Desember). Faktor Pengaruh Luas Bangunan Rumah Tinggal Terhadap Bangunan Rendah Karbon. *KACAPURI: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 4(2), 309-319.
- Putra, D. M. (2021, Desember 13). Studi Pengaruh Metode Pemadatan Beton K-300 Terhadap Kuat Tekan Dan Segregasi. *STATIKA: Jurnal Teknik Sipil*, 7(2), 25-34. doi:<https://doi.org/10.53494/jts.v7i2.116>
- Restuningrat, F. Y. (2023, November 30). Limbah Konstruksi dan Dampak Sosial pada Proyek Pembangunan Gedung. *Jurnal TRIPUTRA: Ekonomi, Sosial dan Hukum*, 1(1), 20-23. doi:10.58641
- Rony, A., Wijayaningtyas, M., & Munasih. (2023). Efektivitas Penggunaan Tower Crane dengan Metode Perbandingan pada Pembangunan Gedung Publik di Kota Malang. *GELAGAR*, 5(1), 71-79.
- Sinurat, R. T. (2022, Agustus). Efisiensi Tata Letak dan Penggunaan Alat Berat Tower Crane pada Proyek Gedung Bertingkat. *Polimedia*, 25(3), 15-32.
- Sujanadi, D., Ashari, I., & Suparjo. (2014, Maret). Produktivitas Pengecoran Beton Readymixed dengan Concrete Pump dan Tower Crane. *Spektrum Sipil*, 1(1), 13-21.
- Teizer, J., & Wandahl, S. (2022, March). Simplified Emissions Measurement System for Construction Equipment. *Construction Research Congress 2022*, (pp. 474-478). doi:<http://dx.doi.org/10.1061/9780784483961.050>

- Utari, R. P. (2019). Analisa Pemilihan dan Tata Letak Tower Crane Terhadap Waktu dan Biaya Konstruksi. *Jurnal Teknik Sipil UMM*.
- Vafai, H. (2020, June 6). Environmental Impact Analysis of Highrise Buildings For Resilient Urban Development. *Scientia Iranica*, 27(4), 1843-1857. doi: 10.24200/sci.2020.21908
- Wahyudi. (2017, Maret). Pengaruh Pemadatan Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan K175. *JCEBT: Journal of Civil Engineering, Building and Transportation*, 1(1), 37-53.
- Waty, M., & Sulistio, H. (2020, Juli 2). Identifikasi Risiko Lanjutan Terhadap Sumber dan Penyebab Material Waste Proyek Konstruksi Jalan. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26(1), 104-117.
- Yuliana, C., Soofia, E., Hidayati, G., & Munawarah. (2024, April 7). Analisis Sisa Material Konstruksi dan Faktor Penyebabnya untuk Proyek Gedung (Studi Kasus PRoyek Pembangunan Rumah Susun ABC di Kalimantan Selatan). *Jurnal Infrastruktur*, 10(1), 51-59.
- Zulkarnaen, F., & Solikin, M. (2023). Produktivitas Alat Berat Tower Crane Untuk Pengecoran Pada Pembangunan Gedung (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung XYZ di Jl. Pemuda). *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil* (pp. 624-631). Surakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.