

ANALISIS IMPLEMENTASI BIM TERHADAP NILAI LIMBAH PEKERJAAN STRUKTUR DAN EVALUASI PENGELOLAANNYA MENGGUNAKAN *WASTE MANAGEMENT PERFORMANCE EVALUATION TOOL* (WMPET) (STUDI KASUS: PROYEK PEMBANGUNAN SMP N 6 SURAKARTA)

Indri Alviana*, Tsulis Iq'bal Khairul Amar, Budi Priyanto

Civil Engineering, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Jawa Tengah

*Email: ia.alvi56@gmail.com

Abstrak

Industri konstruksi berperan besar menghasilkan limbah konstruksi yang signifikan. Pengelolaan limbah konstruksi yang efisien berperan penting dalam mendukung praktik konstruksi yang berkelanjutan. BIM dapat menjadi salah satu solusi pada tahapan perencanaan untuk mengurangi terciptanya limbah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis selisih nilai limbah konstruksi pada pekerjaan struktur dengan implementasi *Building Information Modelling* (BIM) dan mengevaluasi efektivitas pengelolaan limbah konstruksi berdasarkan sistem penilaian *Waste Management Performance Evaluation Tool* (WMPET). Penelitian ini dilakukan pada proyek pembangunan SMP N 6 Surakarta. Penelitian ini membandingkan nilai limbah konstruksi pekerjaan struktur pada tahapan perencanaan antara metode konvensional dengan BIM, dan mengukur tingkat efektivitas pengelolaan limbah berdasarkan penilaian WMPET. Dari tujuan pertama, di dapatkan selisih nilai limbah konstruksi sebesar Rp44.187.356,13 melalui implementasi BIM yang menunjukkan adanya penghematan biaya. Temuan pada tujuan kedua mengindikasikan bahwa pengelolaan limbah yang dinilai tidak efektif berdasarkan sistem penilaian WMPET.

Kata Kunci: BIM, Limbah Konstruksi, WMPET

Abstract

The construction industry plays a major role in generating significant amounts of construction waste. Efficient construction waste management is crucial in supporting sustainable construction practices. BIM can be one of the solutions during the planning phase to reduce waste generation. This study aims to analyze the differences in construction waste values in structural work with the implementation of Building Information Modelling (BIM) and evaluate the effectiveness of construction waste management based on the Waste Management Performance Evaluation Tool (WMPET) assessment system. The research was conducted on the construction project of SMP N 6 Surakarta. This study compares the construction waste values in structural work during the planning phase between the conventional method and BIM, and measures the effectiveness of waste management based on the WMPET assessment. From the first objective, a construction waste value difference of Rp44,187,356.13 was found through the implementation of BIM, indicating cost savings. The findings from the second objective suggest that the waste management evaluated was ineffective based on the WMPET assessment.

Keywords : *Building Information Modelling, Waste Construction, WMPET*

1. PENDAHULUAN

Proses konstruksi, renovasi dan pembongkaran bangunan menghasilkan limbah yang tidak dapat dihindari (Henvy dkk., 2023). Berdasarkan data dari BPS pada tahun 2019, diperkirakan bahwa limbah konstruksi akan meningkat sebesar 82% pada tahun 2030 (Badan Pusat Statistik, 2019). Oleh karena itu, pengelolaan limbah konstruksi yang efisien sangat penting untuk mendukung praktik konstruksi berkelanjutan (Fauziyah dkk., 2023). Dampak limbah konstruksi menuntut adanya pengelolaan yang tepat untuk mengurangi dan meminimalisir efek negatif yang ditimbulkan (Widhiawati dkk., 2019).

Walmikey & Kulkarni (2016) dalam penelitiannya menyimpulkan, penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) khususnya pada tahapan perencanaan dapat membantu mengevaluasi kemungkinan jumlah limbah konstruksi. Penggunaan BIM dapat mengoptimalkan pekerjaan baik perencanaan dan pelaksanaan (Shin dkk., 2022). BIM memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional yang dapat meningkatkan efisiensi bahan material sehingga dapat meminimalisir *waste* (Anggaraini dkk., 2022).

Manajemen limbah bertujuan mengurangi dampak penggunaan material yang digunakan dalam proses konstruksi (Triandini dkk., 2019). Dalam pelaksanaannya, manajemen limbah perlu diukur tingkat keefektifitasannya. *Tool Waste Management Performance Evaluation Tool* (WMPET) menggambarkan

tingkat penerapan *green construction* yang dilakukan kontraktor pelaksana dengan kategori penilaian mencakup tenaga manusia, material, metode dan manajemen (Hartono dkk., 2016).

Penelitian ini mengambil studi kasus di SMP N 6 Surakarta melalui perencanaan menggunakan implementasi BIM dan mengevaluasi tingkat keefektifitasan pengelolaan limbah dengan WMPET. Penelitian ini mengkalkulasikan nilai limbah dan tingkat keefektifitasan pengelolannya yang diharapkan mampu menjadi acuan bagi *stakeholders* dalam mencegah terciptanya limbah, meningkatkan daya daur ulang, dan mengevaluasi pengelolaan sisa material proyek yang sedang dijalankan.

2. METODE

2.1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui wawancara terstruktur terhadap pihak terkait. Data primer digunakan untuk mengevaluasi pengelolaan limbah terhadap kontraktor pelaksana berdasarkan metode penilaian WMPET. Wawancara ini menggunakan daftar pertanyaan yang alternatif jawabannya telah disiapkan (Sugiyono, 2022). Opsi jawaban berupa penilaian dengan skala likert yang memiliki rentang nilai 0,00 s/d 4,00. Adapun kriteria skala likert dalam penilaian dapat dilihat pada Tabel 1. Data Analisis

Tabel 1. *Rating* predikat probabilitas

Skala	Predikat
4,00	Sangat Tinggi
3,00	Tinggi
2,00	Sedang
1,00	Rendah
0,00	Sangat Rendah

*Sumber : Hartono dkk., 2016

Data sekunder berupa data volume Rencana Anggaran Biaya (RAB), *Mutual Check* (MC), *Detail Engineering Design* (DED) dan Rencana Kerja dan Syarat (RKS). DED dan RKS digunakan untuk memodelkan bangunan secara 3D pada Autodesk Revit 2021 yang dibatasi pada pekerjaan struktur *pile cap*, *sloof*, balok, *ringbalk*, kolom, dan pelat lantai. RAB dan MC digunakan untuk membandingkan nilai limbah antara perhitungan konvensional dengan BIM.

2.2. Analisis Data

Penelitian ini dilakukan di SMP N 6 Surakarta yang berlokasi di Kota Surakarta, khususnya Gedung B. Gedung ini terdiri dari dua lantai dengan panjang 62,5m dan lebar 9,2 m. Struktur yang dianalisis meliputi pekerjaan dua jenis *pile cap*, lima jenis kolom, dua jenis *sloof*, empat jenis balok, empat jenis *ringbalk* dan dua jenis pelat. Analisis ini akan menghitung selisih nilai limbah dengan implementasi BIM terhadap pekerjaan struktur pada tahapan perencanaan.

2.2.1. Building Information Modelling (BIM)

BIM merupakan teknologi pemodelan dan serangkaian proses terkait untuk menghasilkan, mengomunikasikan dan menganalisis model bangunan (Eastman dkk., 2008). BIM memiliki dampak pada industri konstruksi, yang sebelumnya menggunakan metode konvensional menuju integrasi pekerjaan yang lebih terkoordinasi dan kolaboratif (Sacks dkk., 2018).

Penelitian ini menggunakan Autodesk Revit 2021 sebagai alat untuk mengkalkulasikan *volume* besi dan beton melalui *quantity take off*. Naviswork 2021 juga digunakan untuk mendeteksi adanya konflik pada pekerjaan beton sehingga *volume* yang dihasilkan lebih presisi. Selanjutnya, hasil *volume* yang berasal dari *quantity take off* akan dibandingkan dengan perhitungan konvensional untuk kemudian dikonversi ke dalam nilai rupiah dengan mengalikan *volume* yang diperoleh dengan AHSP.

2.2.2. Waste Management Performance Evaluation Tool (WMPET)

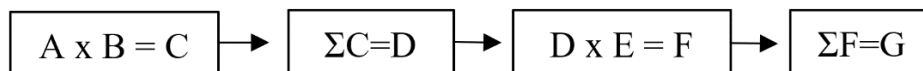
WMPET merupakan alat yang dikembangkan oleh Jee-Hee Kim, Jae-Moon Kim, Hye-Sung Cha dan Dong-Woo Shin pada tahun 2006 guna mengevaluasi tingkat efektivitas pengelolaan limbah untuk mengidentifikasi faktor yang mempengaruhi kinerja manajemen pengelolaan limbah berdasarkan survei kuesioner kontraktor di Korea Selatan (Kim dkk., 2006). WMPET memiliki tiga puluh indikator yang terbagi dalam empat kategori yaitu tenaga manusia, material, metode dan manajemen yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Indikator penilaian WMPET

Kategori	No	Indikator
Tenaga Manusia	1.1	Komitmen perwakilan kontraktor di lokasi proyek terkait manajemen limbah konstruksi
	1.2	Perekrutan pekerja khusus untuk pembuangan limbah konstruksi
	1.3	Struktur organisasi terkait dalam manajemen limbah konstruksi
	1.4	Kerjasama pengelolaan limbah konstruksi dengan subkontraktor
	1.5	Pendidikan untuk teknisi dalam manajemen limbah konstruksi
	1.6	Pelatihan khusus pengelolaan limbah konstruksi untuk staf
	1.7	Pencegahan limbah konstruksi sisa material oleh pekerja
Material	2.1	Mengurangi <i>rework</i> dalam tahap konstruksi
	2.2	Penggunaan material sesuai standar
	2.3	Mengumpulkan kembali kemasan material dari pemasok
	2.4	Penggunaan material pracetak
	2.5	Penggunaan material daur ulang
	2.6	Pencegahan penggunaan material pecah belah
	2.7	Mengurangi risiko kehilangan material selama pengangkutan dan penyimpanan
	2.8	Mencegah kelebihan pemesanan material
Metode	3.1	Menyiapkan bak pemilah sesuai jenis limbah konstruksi
	3.2	Menyediakan bak pemilah konstruksi pada setiap subkontraktor
	3.3	Memilah jenis limbah tersendiri dari limbah tercampur
	3.4	Menyiapkan bak penampungan sementara di setiap area bangunan
	3.5	Mengingatkan pekerja tentang material yang bisa di daur ulang
	3.6	Menyimpan limbah konstruksi pada area yang mudah di jangkau
	3.7	Mendesain tempat penyimpanan limbah sejak awal proyek
	3.8	Mengingatkan jenis limbah dan tanggung jawab staf melalui tulisan atau peringatan pada bak sampah
	3.9	Memasang peralatan untuk mendaur ulang di lokasi proyek
Manajemen	4.1	Pengaturan limbah konstruksi oleh penghasil limbah
	4.2	Klausul kontrak subkontraktor terkait limbah konstruksi
	4.3	Dorongan untuk mengurangi atau mendaur ulang limbah konstruksi oleh subkontraktor
	4.4	Menyimpan catatan pengelolaan limbah konstruksi
	4.5	Klausul kontrak tentang metode terbaru untuk pembuangan limbah konstruksi oleh perusahaan pengelolaan limbah
	4.6	Memperpendek waktu pengumpulan limbah konstruksi di lokasi

*Sumber : Kim dkk., 2006

Analisis penilaian menggunakan WMPET dapat digambarkan pada diagram alir Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Diagram alir pengolahan data.

Keterangan :

A = Rata-rata skor tiap faktor

B = Bobot tiap faktor

C = Nilai tiap faktor dikalikan bobot

E = Bobot tiap kategori

F = Indeks per kategori

G = Total indeks semua kategori

Total indeks merupakan hasil perhitungan akhir untuk menentukan predikat manajemen limbah yang terbagi menjadi empat. Adapun predikat indeks dijabarkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Rentang indeks predikat

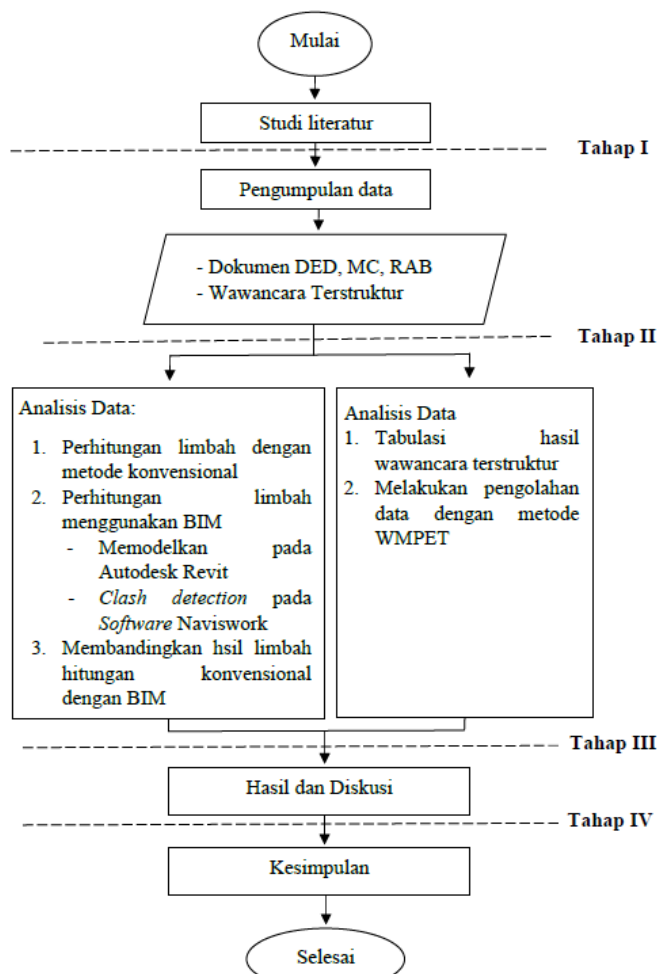
Rentang Indeks	Predikat	Deskripsi
801-1000	Sangat Baik	Pengelolaan limbah pada proyek ini sangat efektif
601-800	Baik	Pengelolaan limbah pada proyek ini cukup efektif
401-600	Buruk	Pengelolaan limbah pada proyek ini tidak efektif
0-400	Sangat Buruk	Pengelolaan limbah pada proyek ini sangat tidak efektif

*Sumber : Kim dkk., 2006

Hasil evaluasi WMPET akan menunjukkan tingkat efektivitas pengelolaan limbah proyek dalam mengurangi limbah dan meningkatkan daur ulang.

2.3. Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode campuran, yaitu kuantitatif dan kualitatif. Penelitian dimulai dengan mengidentifikasi masalah dengan studi literatur. Selanjutnya melakukan pengumpulan data. Kemudian analisis data sekunder dengan pemodelan Autodesk Revit dan deteksi konflik dengan Naviswork untuk memperoleh *quantity take off*. Berikutnya, pengolahan data primer berdasarkan WMPET. Terakhir, diperoleh hasil dan pembahasan serta kesimpulan dari penelitian yang dilakukan. Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

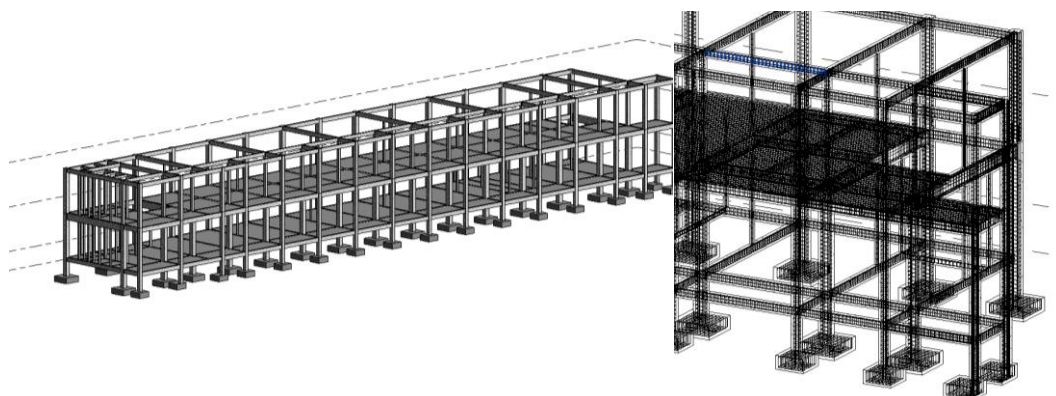


Gambar 2. Diagram alir penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pemodelan BIM dan *Clash Detection*

Penelitian ini dilakukan dengan menghitung selisih nilai limbah pemodelan 3D menggunakan Autodesk Revit 2021 melalui *quantity take off* secara konvensional yang diperoleh dari RAB dan *Mutual Check*. Pemodelan menggunakan Autodesk Revit dapat dilihat pada Gambar 3. berikut.



Gambar 3. Hasil pemodelan 3D (pemodelan Revit).

Selanjutnya, memastikan tidak adanya konflik antar komponen menggunakan Naviswork 2021 yang dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.

Name	Status	Clashes	New	Active	Reviewed	Approved	Resolved
Kolom Persegi VS Balok	Done	0	0	0	0	0	0
Kolom Persegi VS Plat Lantai	Done	0	0	0	0	0	0
Kolom Persegi VS Fondasi	Done	0	0	0	0	0	0
Kolom Persegi Panjang VS Balok	Done	0	0	0	0	0	0
Kolom Persegi Panjang VS Plat Lantai	Done	0	0	0	0	0	0

Gambar 4. Clash detection dengan Naviswork.

Kemudian melakukan *quantity take off* pada *software* Autodesk Revit berupa volume besi dalam kg dan volume beton dalam m³.

3.2. Perbandingan Harga Limbah

Perbandingan harga limbah meliputi perbandingan secara konvensional yang diperoleh dengan mendapatkan selisih antara RAB dan *Mutual Check* dengan menggunakan BIM yang diperoleh dengan mendapatkan selisih antara BIM dan *Mutual Check*. Volume konvensional diperoleh dari RAB, sedangkan volume BIM diperoleh dari *output quantity take off* pemodelan yang dilakukan dengan Autodesk Revit

Selisih tersebut kemudian dikalikan dengan AHSP untuk mendapatkan nilai dalam rupiah. AHSP yang digunakan ditampilkan dalam Tabel 3 berikut

Tabel 3. AHSP

Pekerjaan	AHSP
Besi	Rp15.700,08
Beton	Rp1.049.068,23

*Sumber : RAB Proyek

Perhitungan nilai limbah besi secara konvensional ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi nilai limbah besi secara konvensional

Pekerjaan	RAB A	Mutual Check B	Selisih C=A-B	Selisih Biaya (Rp) D=CxAHSP
PS 2	3503,16	3361,14	142,02	2.229.725,36
PS 3	1244,73	1236,14	8,58	134.774,51
K2	4469,78	4420,98	48,79	766.101,10
K3	1081,08	1065,63	15,45	242.524,69
Ks 2	2654,62	2555,34	99,27	1.558.667,74
Ks3	440,19	435,8	4,26	72.586,18
Kp	953,61	860,39	93,22	1.463.568,84
SL1	2972,49	2858,35	114,15	1.792.105,26
SL2	206,4	200,99	5,41	84.933,51
B1	3370,05	3108,02	263,03	4.113.876,26
BL 2	531,33	511,23	20,10	315.520,74
BL3	3550,67	3078,5	472,17	7.413.140,37
BL 4	190,70	179,31	11,39	178.867,40
RB 1	2459,69	1930,72	528,94	8.304.932,55
RB 2	421,97	405,37	16,60	260.583,65
RB 3	73,50	69,42	4,08	64.023,75
BA 1	243,07	114,24	128,83	2.022.608,34
Pelat Lt2	6878,78	6826,04	52,73	827.918,09
TOTAL				31.846.475,83

*Sumber : Analisis Data

Berdasarkan analisis perhitungan dihasilkan nilai limbah menggunakan perhitungan konvensional sebesar Rp31.846.475,83. Dengan langkah yang sama, dilakukan analisis nilai limbah menggunakan perhitungan BIM yang ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi nilai limbah besi dengan BIM

Pekerjaan	BIM	Mutual Check	Selisih	Selisih Biaya (Rp)
	A	B	C=A-B	D=CxAHSP
PS 2	3397,37	3361,14	36,23	568.813,90
PS 3	1239,63	1236,14	3,48	54.760,62
K2	4438,64	4420,98	17,65	277.161,36
K3	1080,24	1065,63	23,85	229.354,62
Ks 2	2587,34	2555,34	10,86	502.386,07
Ks3	438,28	435,8	2,71	42.599,03
Kp	866,33	860,39	5,94	93.258,32
SL1	2899,07	2858,35	40,72	639.358,28
SL2	205,57	200,99	4,58	71.836,50
B1	3126,69	3108,02	18,67	293.104,79
BL 2	513,78	511,23	2,55	39.984,34
BL3	3079,55	3078,5	1,05	16.519,00
BL 4	184,87	179,31	5,56	87.280,20
RB 1	1959,24	1930,72	28,52	447.756,86
RB 2	418	405,37	12,63	198.254,33
RB 3	70,58	69,42	1,16	18.228,58
BA 1	136,88	114,24	22,64	355.390,94
Pelat Lt2	6849,86	6826,04	23,82	373.934,58
TOTAL				4.309.983,10

*Sumber : Analisis Data

Perhitungan selisish biaya menggunakan metode BIM menghasilkan nilai limbah besi sebesar Rp4.309.983,10. Dengan memperoleh data terkait, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan selisih nilai limbah besi antara metode konvensional dengan BIM. Analisis perhitungan dilakukan dengan mengurangi total nilai pada Tabel 4 dan Tabel 5 menggunakan langkah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Selisih biaya} &= \text{Rp}31.846.475,83 - \text{Rp}4.309.983,58 \\ &= \text{Rp}27.536.492,73 \end{aligned}$$

Didapatkan selisih nilai limbah besi antara metode konvensional dengan BIM sebesar Rp27.536.492,73.

Langkah serupa dengan perhitungan limbah besi, perhitungan limbah beton dengan metode konvensional ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi nilai limbah beton secara konvensional

Pekerjaan	RAB	Mutual Check	Selisih	Selisih Biaya (Rp)
	A	B	C=A-B	D=CxAHSP
PS 2	33,75	3,75	0	0
PS 3	10,29	10,29	0	0
K2	27,36	27,36	0	0
K3	9,6	9,6	0	0
Ks 2	16,371	14,48	1,53	1.605.074,39
Ks3	3,75	3,75	0	0
Kp	3,863	3,685	0,178	186.943,96
SL1	23,94	21,52	2,422	2.540.843,25
SL2	1,519	1,435	0,083	87.531,63
B1	18,9	18,36	0,54	566.496,84
BL 2	3,375	3,105	0,27	283.248,42
BL3	21,632	18,72	2,912	3.054.886,69
BL 4	1,332	1,203	0,129	135.329,80
RB 1	19,81	14,27	5,538	5.810.526,66
RB 3	0,426	0,389	0,038	40.126,86
BA 1	1,616	0,816	0,8	839.254,58
Pelat Lt1	36,70	36,55	0,152	159.169,88
Pelat Lt2	58,37	56,06	2,29	2.404.674,20
TOTAL				17.950.147,52

*Sumber : Analisis Data

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, diperoleh nilai limbah beton secara konvensional sebesar Rp17.155.165,59. Kemudian dilakukan perhitungan nilai limbah beton dengan metode BIM yang ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi nilai limbah beton dengan BIM

Pekerjaan	BIM A	Mutual Check B	Selisih C=A-B	Selisih Biaya (Rp) D=CxAHSP
PS 2	33,75	3,75	0	0
PS 3	10,29	10,29	0	0
K2	27,36	27,36	0	0
K3	9,6	9,6	0	0
Ks 2	14,48	14,48	0	0
Ks3	3,75	3,75	0	0
Kp	3,69	3,685	0,005	5.664,97
SL1	21,54	21,52	0,22	23.079,50
SL2	1,45	1,435	0,015	15.408,19
B1	18,45	18,36	0,09	94.416,14
BL 2	3,12	3,105	0,015	15.736,02
BL3	18,8	18,72	0,08	83.925,46
BL 4	1,21	1,203	0,007	7.343,48
RB 1	14,37	14,27	0,099	103.595,49
RB 2	2,8	2,79	0,01	10.490,68
RB 3	0,39	0,389	0,002	2.360,40
BA 1	0,82	0,816	0,004	4.196,27
Pelat Lt1	36,59	36,55	0,037	39.051,56
Pelat Lt2	56,93	56,06	0,852	894.015,95
TOTAL				1.299.284,12

*Sumber : Analisis Data

Analisis perhitungan yang telah dilakukan pada nilai limbah beton dengan BIM, menghasilkan nilai limbah beton sebesar Rp1.299.284,12. Selanjutnya, perhitungan selisih nilai limbah antara metode konvensional dengan BIM dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Selisih Biaya} &= \text{Rp}17.950.147,52 - \text{Rp}1.299.284,12 \\ &= \text{Rp}16.650.863,40 \end{aligned}$$

Didapatkan selisih nilai limbah besi antara metode konvensional dengan BIM sebesar Rp16.650.863,40. Selisih nilai limbah besi dan beton antara keduanya ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Bar chart selisih nilai limbah.

Untuk memperoleh total selisih nilai limbah besi dan beton antara perhitungan konvensional dan BIM, kedua nilai limbah dijumlahkan dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Total Biaya} &= \text{Rp}27.536.492,73 + \text{Rp}16.650.863,4 \\ &= \text{Rp}44.487.356,13 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis perhitungan, diperoleh nilai selisih limbah antara perhitungan konvensional dengan BIM sebesar Rp44.487.356,13. Hal ini selaras dengan penelitian yang dilakukan Anggaraini, dkk. (2022) yang menyatakan bahwa BIM memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan metode konvensional. BIM tidak hanya mampu meningkatkan akurasi, tetapi juga efisiensi bahan material sehingga dapat meminimalisir waste. Dengan demikian hasil analisis yang dilakukan sejalan dengan rumusan masalah.

3.3. WMPET

Penelitian ini dilakukan terhadap tiga responden, yaitu *project manager* dan dua orang pengawas proyek. Berdasarkan wawancara terstruktur yang telah dilakukan pada tanggal 26 dan 28 November 2024 terhadap tiga responden (R1, R2 dan R3) diperoleh jawaban berupa nilai dari 30 pertanyaan.

Analisis data dimulai dengan menjumlahkan nilai dari ketiga responden, kemudian dibagi tiga untuk diperoleh nilai rata-rata yang selanjutnya disebut skor (A) dalam Tabel 8. Skor tersebut kemudian dikalikan dengan bobot (B) yang telah diatur dalam WMPET menjadi nilai (C). Nilai tersebut selanjutnya dijumlahkan dengan masing-masing kategori (D). Setelah mendapatkan jumlah nilai per kategori, kemudian dikalikan dengan bobot per kategori (E) yang telah diatur dalam WMPET. Nilai (E) kemudian dijumlahkan tiap kategori menjadi Indeks per kategori (F). Langkah terakhir adalah menjumlahkan empat nilai indeks per kategori untuk memperoleh Total Indeks (G). Analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan indeks WMPET

No	Skor A	Bobot B	Nilai C=AxB	Jumlah Nilai Per Kategori D=ΣC	Bobot Per Kategori E	Indeks Per Kategori F=DxE
1.1	8,3	25	208,33			
1.2	6,7	20	133,33			
1.3	5,8	20	116,67			
1.4	7,5	15	112,5	633,33	0,35	221,67
1.5	2,5	10	25			
1.6	2,5	5	12,5			
1.7	5	5	25			
2.1	5,8	25	145,83			
2.2	9,2	20	183,33			
2.3	5	15	75			
2.4	5	10	50	608,33	0,2	121,67
2.5	2,5	10	25			
2.6	5	10	50			
2.7	8,3	5	41,67			
2.8	7,5	5	37,5			
3.1	9,2	25	229,17			
3.2	6,7	15	100			
3.3	5,8	15	87,5			
3.4	7,5	10	75			
3.5	4,2	10	41,67	654,17	0,2	130,83
3.6	5,8	10	58,33			
3.7	5	5	25			
3.8	5,8	5	29,17			
3.9	1,7	5	8,33			
4.1	3,3	25	83,33			
4.2	2,5	25	62,5			
4.3	5	20	100	387,5	0,25	96,88
4.4	3,3	15	50			
4.5	5	10	50			
4.6	8,3	5	41,67			
Total Indeks (G=ΣF)						571,04

* Sumber : Analisis Data

Analisis yang dilakukan menghasilkan total indeks sebesar 571,04. Berdasarkan Tabel 2, rentang indeks berada pada nilai 401-600 dengan predikat buruk yaitu pengelolaan limbah pada proyek ini tidak efektif. Sehingga, diperoleh hasil tingkat keefektivitasan pengelolaan limbah pada Proyek Pembangunan SMP N 6 Surakarta yaitu tidak efektif. Selaras dengan penelitian Hartono, dkk. (2016) yang menyebutkan hasil penilaian WMPET cenderung tidak efektif disebabkan keterbatasan infrastruktur, sumber daya, dan lemahnya regulasi serta pengelolaan limbah yang hanya berdasarkan pada kebiasaan kontraktor.

3.4. Hubungan BIM dan WMPET

Rumusan masalah pertama membahas perbandingan nilai limbah pekerjaan struktur dengan metode konvensional dan BIM, menekankan upaya preventif pada tahapan perencanaan untuk mengurangi potensi timbulnya limbah pada proyek pembangunan SMP N 6 Surakarta. Kemudian, rumusan masalah kedua berfokus pada evaluasi penanganan terhadap limbah yang tetap timbul selama proyek berlangsung. Kombinasi dari kedua pembahasan ini memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai peran BIM, tidak hanya dalam pencegahan limbah, tetapi juga dalam mendukung sistem pengelolaan limbah yang berkelanjutan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa implementasi BIM efektif mengurangi limbah konstruksi besi dan beton serta meningkatkan efisiensi biaya pada tahap perencanaan. Selain itu, hasil evaluasi penilaian menggunakan WMPET yang tidak efektif dapat menjadi acuan bagi pihak terkait dalam memperbaiki sistem pengelolaan dan meningkatkan praktik manajerial berdasarkan indikator-indikator yang ada dalam WMPET.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggaraini, N.L., Sat, D., Yuwana, A. & Rafi'ud Darajat, A. 2022. Perbandingan Volume pada Pekerjaan Struktural antara Perhitungan dengan Building Information Modeling. *Journal RICE*, Vol. 6, No. 2.
- Badan Pusat Statistik 2019. *Statistik Konstruksi*. Jakarta: BPS-Statistic Indonesia.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sack, R. & Liston, K. 2008. *BIM handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. John Wiley & Sons Inc.
- Fauziyah, S., Christian, N., Wijaya, P.T. & Persero, K. 2023. Implementasi BIM Terhadap Upaya Pengurangan Waste Material Konstruksi pada PT. Wijaya Karya Jabodetabek. *Journal of Civil Engineering Project*, Vol. 6, No. 1(1). Tersedia di <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/potensi>.
- Hartono, W., Ali, I.H. & Sugiyarto 2016. Evaluasi Sistem Manajemen Limbah Konstruksi pada Kontraktor Pembangunan Perumahan di Kota Surakarta Untuk Mendukung Green Construction. *e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 271–278.
- Henvy, F.Y., Sophia, A.V. & Dermawan, D. 2023. Identifikasi Jenis Limbah Konstruksi pada Proyek Konstruksi Pabrik Minyak Goreng. *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*.
- Kim, J.-H., Kim, J.-M., Cha, H.-S. & Shin, D.G.-W. 2006. Development of The Construction Waste Management Performance Evaluation Tool (WMPET). *ISARC*, 263–268.
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G. & Teicholz, P. 2018. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractor, and Facility Managers*. *BIM Handbook*. John Wiley & Sons Inc.
- Sugiyono 2022. *Metode Penelitian Kualitatif Untuk penelitian yang bersifat: eksploratif, enterpretif, interaktif dan konstruktif*. Bandung: Alfabeta.
- Tamara, E.K., Uda, S.A.K.A. & Nuswantoro, W. 2024. Implementasi Waste Material Management Pada Proyek Konstruksi Perumahan untuk Mendukung Bangunan Ramah Lingkungan. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, Vol. 21, No. 1(1). Tersedia di <http://ejournal2.pnp.ac.id/index.php/jirs/>.
- Triandini, A., Waluyo, R. & Nuswantoro, W. 2019. Konsep dan Penerapan Waste Management pada Kontraktor di Kota Palangkaraya. *Jurnal Teknika*, Vol. 2, No. 2(2): 90–100.
- Shin, M.-H., Jung, J.-H., & Kim, H.-Y. (2022). Quantitative and Qualitative Analysis of Applying Building Information Modeling (BIM) for Infrastructure Design Process. *Buildings*, 12(9), 1476. <https://doi.org/10.3390/buildings12091476>
- Walmikey, P. & Kulkarni, P. 2016. Construction Waste Management Through the Applications of BIM. *International Journal of Advance*.
- Widhiawati, I.A.R., Astana, N.Y., Indrayani, N.L.A., 2019. Kajian Pengelolaan Limbah Konstruksi pada Proyek Pembangunan Gedung di Bali. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* 55.