ANALISIS FAKTOR PENYEBAB WASTE MATERIAL KONSTRUKSI MENGGUNAKAN PENDEKATAN PLS-SEM (Studi Kasus Proyek Cwi-02 ITS)

Ahmad Nurwahid [1)] Mohamad Ferdaus Noor Aulady [2)*] Nova Nevila Rodhi [3)]

[1]Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, amdnurwahid@gmail.com
[2]Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, mohamadaulady@itats.ac.id
[3]Program Studi Teknik Sipil Universitas Bojonegoro, nova.nevila@gmail.com

ABSTRAK

Waste material merupakan salah satu masalah utama dalam pelaksanaan proyek konstruksi yang berdampak pada inefisiensi biaya, waktu, serta aspek lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya waste material pada proyek CWI-02 ITS dengan menggunakan pendekatan Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM). Data diperoleh melalui kuesioner terhadap 30 responden yang terlibat langsung dalam pelaksanaan proyek. Enam variabel independen yang dianalisis meliputi desain, procurement, logistik, operasional, residual, dan produksi. Hasil analisis menunjukkan bahwa hanya dua variabel yang memiliki pengaruh signifikan terhadap waste material, yaitu operasional dan residual. Variabel operasional memiliki nilai koefisien jalur sebesar 0.545, t-statistic 2.208, dan p-value 0.027, sedangkan residual memiliki nilai koefisien jalur 0.478, t-statistic 3.048, dan p-value 0.002. Sementara itu, desain, procurement, logistik, dan produksi tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan secara statistik. Nilai R-square sebesar 0.910 menunjukkan bahwa model dapat menjelaskan 91% variasi pada waste material. Temuan ini mengindikasikan bahwa kesalahan pelaksanaan di lapangan serta pengelolaan sisa material merupakan penyebab utama pemborosan material pada proyek. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan pengawasan operasional dan manajemen sisa material yang lebih efektif untuk meminimalkan timbulnya waste material pada proyek konstruksi.

Kata Kunci : Sisa Material, PLS-SEM, Konstruksi, Manajemen Sisa, Mitigasi *Waste*

ABSTRACT

Waste material is one of the major issues in construction projects, leading to inefficiencies in cost, time, and environmental impact. This study aims to analyze the factors contributing to material waste in the CWI-02 ITS project using the Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) approach. Data were collected through questionnaires distributed to 30 respondents directly involved in the project execution. Six independent variables were examined: design, procurement, logistics, operational, residual, and production. The analysis results indicate that only two variables have a statistically significant influence on material waste: operational and residual. The operational variable has a path coefficient of 0.545, a t-statistic of 2.208, and a p-value of 0.027, while the residual variable has a path coefficient of 0.478, a t-statistic of 3.048, and a p-value of 0.002. On the other hand, design, procurement, logistics, and production variables do not show a significant effect. The R-square value of 0.910 suggests that the model explains 91%

of the variance in material waste. These findings indicate that errors during field execution and poor leftover material management are the main contributors to material waste in the project. Therefore, it is necessary to enhance operational supervision and implement more effective residual material management strategies to minimize material waste in construction projects.

Keyword: ***Waste, PLS-SEM, Construction, Waste Management***

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan gedung di Indonesia yang terus meningkat disertai dengan tantangan serius dalam pengelolaan material dan limbah konstruksi. Secara global, limbah konstruksi dan pembongkaran (Construction and Demolition Waste/CDW) menyumbang lebih dari 30% dari total limbah padat dunia (Lu et al., 2022). China menghasilkan sekitar 2,300 juta ton CDW pada 2019, jauh melampaui Amerika Serikat dan Uni Eropa. Sayangnya, tingkat daur ulang masih rendah, seperti di Beijing yang hanya mendaur ulang sekitar 3% CDW, sehingga menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, kesehatan, dan keselamatan kerja. Berbagai penelitian telah mengidentifikasi penyebab waste material konstruksi. Nurul (2017) menyebutkan bahwa waste dapat berasal dari kesalahan desain, kegagalan logistik, dan lemahnya pengelolaan material sisa. Osmani et al. (2008) menyoroti kontribusi desain yang tidak efisien, sementara Zhang et al. (2020) dan Luangcharoenrat et al. (2019) menambahkan bahwa procurement, logistik, dan manajemen lapangan berperan besar dalam pemborosan material. Namun, sebagian besar studi tersebut masih bersifat parsial dan belum mengkaji seluruh tahapan proyek secara menyeluruh menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis variabel laten seperti Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM). Padahal, metode ini mampu memetakan hubungan kompleks antar variabel meski dengan jumlah sampel terbatas.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh enam faktor utama yaitu desain, procurement, logistik, operasional, residual, dan produksi terhadap waste material pada proyek konstruksi kampus CWI-02 ITS.

1.1 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah "Apa saja penyebab timbulnya waste material pada pelaksanaan proyek CWI-02 ITS".

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan penelitian ini adalah "Mengetahui faktor-faktor yang menjadi penyebab waste material pada proyek CWI-02 ITS".

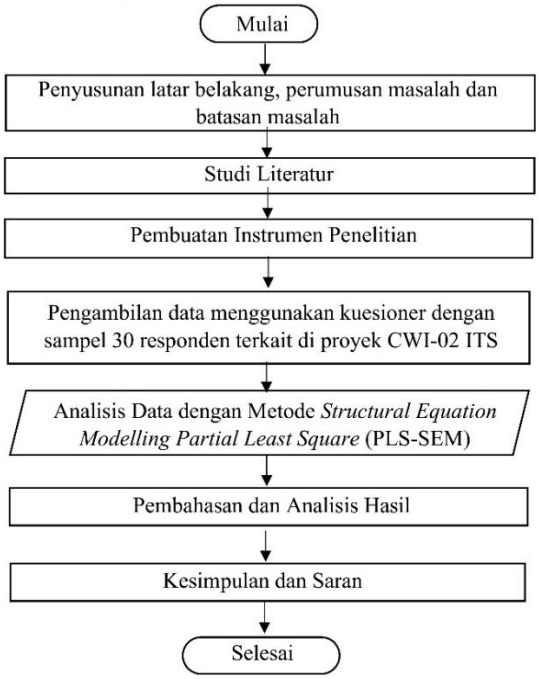
1.3 Urgensi Penelitian

Secara teoritis, penelitian ini penting sebagai acuan bagi pengembangan kajian akademis mengenai manajemen risiko *waste* material pada proyek konstruksi, sekaligus memperkaya penerapan metode PLS-SEM dalam bidang manajemen konstruksi. Secara praktis, penelitian ini bermanfaat bagi praktisi untuk mengidentifikasi faktor penyebab *waste* material dan menyusun strategi mitigasi yang efektif, sehingga dapat meningkatkan efisiensi proyek sekaligus mendukung keberlanjutan konstruksi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) untuk menganalisis pengaruh enam variabel independen yaitu desain, procurement, logistik, operasional, residual, dan produksi terhadap waste material konstruksi. Sampel pada penelitian ini berjumlah 30 responden menggunakan purposive sampling dari jumlah populasi 48 tenaga kerja proyek CWI-02 ITS, yaitu staf

PT Adhi Karya (Persero) Tbk. Pengumpulan data dilakukan melalui kuesioner berisi 61 pertanyaan, yang disusun berdasarkan indikator dari studi sebelumnya dan disesuaikan dengan konteks proyek. Data yang terkumpul dianalisis menggunakan SmartPLS 4. Evaluasi model dilakukan melalui uji validitas dan reliabilitas konstruk, serta pengujian hipotesis dengan teknik bootstrapping. Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 1. berikut.

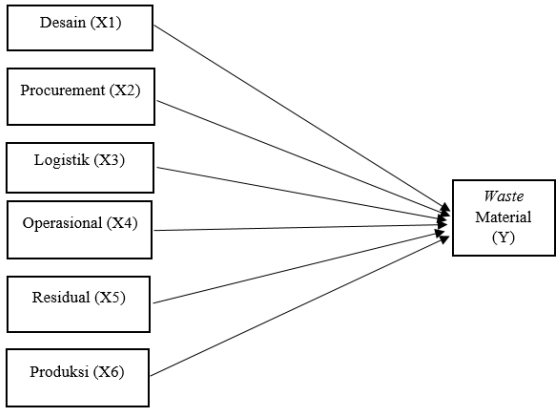


Gambar 1.
Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh melalui pengisian kuesioner oleh responden dianalisis menggunakan pendekatan Partial Least Square (PLS). Metode ini termasuk dalam teknik pemodelan statistik yang digunakan untuk mengkaji dan mengestimasi hubungan antar variabel laten, baik pada model pengukuran maupun struktural, terutama pada kondisi kompleksitas model yang tinggi atau jumlah sampel yang terbatas. Setiap variabel memiliki indikator yang perlu diidentifikasi. Indikator adalah item atau pertanyaan yang digunakan dalam instrumen (kuesioner) untuk mengukur variabel laten (Latan & Ghozali, 2015). Dari hasil penelitian-penelitian sebelumnya penulis rangkum ke dalam Tabel 1. variabel dan indikator pada kuesioner berikut.

Berdasarkan variabel dan indikator yang telah disusun, maka model pada penelitian yang diolah menggunakan bantuan software PLS-SEM disajikan pada Gambar 2. berikut.



Gambar 2.
Model Penelitian

Tabel 1.
Variabel dan Indikator pada Kuesioner

No	Var.	Kode	Referensi	Indikator
1	Desain (X1)	DSN1	Gavilan & Bernold (1994)	Kesalahan pada dokumen kontrak
2		DSN2		Ketidaksesuaian Dokumen Kontrak pada Tahap Awal Konstruksi
3		DSN3		Perubahan desain
4		DSN4		Ketidaklengkapan dokumen kontrak
5		DSN5		Kesalahan memilih spesifikasi produk

No	Var.	Kode	Referensi	Indikator
6		DSN6	Bossink & Browers (1996)	Memilih produk yang berkualitas rendah
7		DSN7		Kurangnya memperhatikan ukuran dari produk yang digunakan
8		DSN8		Konsultan Perencana tidak mengetahui dengan baik tipe lain dari produk
9		DSN9		Detail gambar yang terlalu rumit
10		DSN10		Informasi pada gambar kurang dipahami
11		DSN11	Ekanayake & Ofori (2004)	Kurang koordinasi antara konsultan perencana, pengawas dan kontraktor
12		DSN12		Konsultan Perencana tidak memiliki pengalaman dalam menentukan metode dan tahapan konstruksi
13	Procurement (X2)	PROC1	Gavilan & Bernold(1994)	Kesalahan pemesanan, terlalu banyak dan terlalu sedikit pemesanan, dll
14		PROC2		Kesalahan memilih supplier
15		PROC3	Bossink & Browers (1996)	Kesalahan pemesanan, kelebihan pemesanan, kekurangan pemesanan, dsb
16		PROC4		Sistem pemesanan material yang mengharuskan pembelian dalam jumlah besar, tanpa adanya opsi pemesanan dalam volume kecil
17		PROC5		Pembelian material yang tidak sesuai spesifikasi kontrak
18		PROC6		Pemasok mengirim barang tidak sesuai dengan spesifikasi
19		PROC7		Pengemasan material yang tidak memadai dapat meningkatkan risiko kerusakan selama proses pengiriman
20		PROC8	Ekanayake & Ofori (2004)	Kurangnya kemungkinan untuk memesan dalam jumlah kecil
21		PROC9		Membeli tidak sesuai dengan spesifikasi
22	Logistik (X3)	LOG1		Kerusakan saat pengangkutan
23		LOG2		Penyimpanan yang tidak tepat yang mengakibatkan kerusakan atau turunnya kualitas produk
24		LOG3	Bossink & Browers (1996)	Pengemasan material yang tidak dilakukan dengan baik
25		LOG4		Keadaan material tidak padat saat dalam pengiriman
26		LOG5		Membuang atau melempar material
27		LOG6		Kurang hati dalam proses bongkar material untuk disimpan di gudang
28		LOG7		Penyimpanan material yang tidak benar sehingga menyebabkan kerusakan
29		LOG8		Kerusakan material akibat proses transportasi ke atau di lokasi proyek
30		LOG9	Ekanayake & Ofori(2004)	Menggunakan material seadanya untuk keperluan menutup tempat kerja
31		LOG10		Sikap serta tindakan tim proyek dan pekerja yang tidak ramah/ kasar
32		LOG11		Pencurian
33		OPS1		Kesalahan pada pekerja atau buruh saat pemasangan material

No	Var.	Kode	Referensi	Indikator
34	Operasional (X4)	OPS2	Gavilan & Bernold(1994)	*Malfunction* dari peralatan
35		OPS3	Bossink & Browers (1996)	Cuaca buruk
36		OPS4		Kecelakaan Kerja
37		OPS5	Gavilan & Bernold(1994)	Kerusakan akibat kegiatan berikutnya
38		OPS6		Penggunaan material yang salah sehingga membutuhkan pengganti
39	Residual (X5)	RES1	Gavilan & Bernold(1994)	*Cutting List* Material Yang Tidak Sesuai
40		RES2		Sisa pemotongan material menjadi terlalu panjang
41		RES3		Material yang *overmixing*
42		RES4		Limbah dari proses pengaplikasian material
43		RES5		Limbah kriminal atau vandalisme yang menyebabkan kerusakan
44		RES6	Bossink & Browers (1996)	Sisa material hasil pemotongan yang tidak dapat dimanfaatkan lagi
45		RES7		Kesalahan dalam proses pemotongan material
46		RES8		Kesalahan pemesanan material karena tidak paham spesifikasi kebutuhan
47	Produksi (X6)	PRO1	Bossink & Browers (1996)	Kurangnya pengawasan material di proyek dan perencanaan manajemen limbah yang tidak optimal
48		PRO2		Kehilangan material yang diakibatkan pencurian
49		PRO3		Lemahnya pengendalian material di lapangan serta kurangnya perencanaan manajemen sisa material
50		PRO4	Ekanayake & Ofori (2004)	Kerusakan pada pekerjaan karena pekerja kurang terampil
51		PRO5		Penggunaan material yang salah, sehingga perlu penggantian material
52		PRO6		Ketidakjelasan jumlah kebutuhan material yang disebabkan oleh perencanaan yang kurang akurat
53		PRO7		Terlambat memberikan informasi kepada kontraktor mengenai jenis dan ukuran material yang akan digunakan
54		PRO8		Kerusakan peralatan
55		PRO9		Cuaca buruk
56	Pengendalian Material (Faktor Dependen)	WAS1		Rendahnya Nilai *Waste* Material
57		WAS2		Sedikitnya material yang cacat mutu
58		WAS3		Material 100% terpasang di lapangan
59		WAS4		Target Mutu, Waktu dan Biaya Tercapai
60		WAS5		Sedikitnya sisa material yang ada di lapangan
61		WAS6		*Waste* Material Dapat Diolah Menjadi Bahan Baru Terbarukan

Berdasarkan model penelitian tersebut disusun hipotesis penelitian. Hipotesis pada penelitian ini yaitu:

- H_0: Tidak terdapat hubungan signifikan antara proses desain, *procurement*, logistik, operasional, residual dan produksi terhadap

timbulnya *waste* material pada proyek CWI-02.

- H_1: Terdapat hubungan signifikan antara proses desain, *procurement,* logistik, operasional, residual dan produksi terhadap timbulnya *waste* material pada proyek CWI-02.

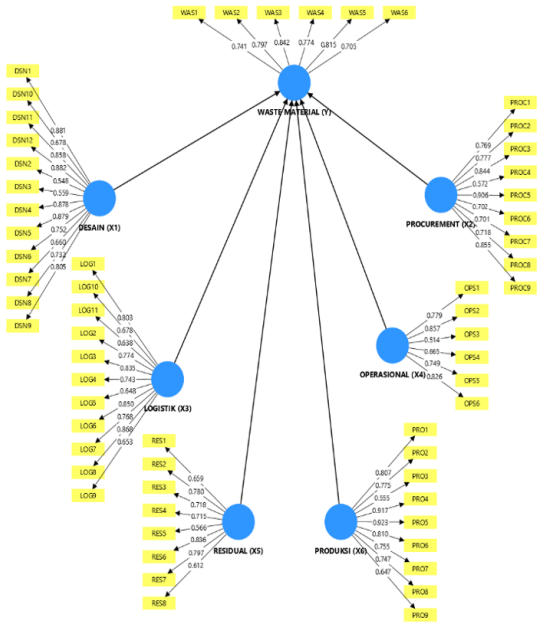
Model penelitian ini dievaluasi menggunakan pendekatan PLS-SEM yang mencakup dua tahapan utama, yaitu evaluasi model pengukuran *(outer model)* untuk menilai validitas dan reliabilitas konstruk, serta evaluasi model struktural *(inner model)* untuk menguji hubungan antar konstruk laten dan kemampuan prediktif model secara keseluruhan.

3.1 Evaluasi Model Pengukuran (*Outer Model*)

a. Uji Validitas

Uji validitas dilakukan dengan mengukur keterkaitan setiap indikator terhadap variabel yang dimaksud.

Loading Factor



Gambar 3.
Diagram Jalur Penelitian *Outer Model* Awal

Dari hasil simulasi dengan PLS SEM didapatkan hasil *loading factor* yang dapat dilihat pada Gambar 3. di bawah. Pada simulasi terhadap 61 indikator yang terdapat pada penelitian, terdapat 16 indikator yang tidak valid karena nilai *loading factor* menunjukkan di bawah kriteria 0.7.

Berdasarkan hasil *loading factor* tersebut, diperlukan pengujian validitas data lanjutan dengan mengeliminasi indikator yang tidak valid tersebut, dan didapatkan model penelitian seperti pada Gambar 4. dimana semua nilai *loading factor* pada masing-masing indicator lebih dari 0.7 yang berarti bahwa indikator tersebut valid dan dapat dilakukan pengujian selanjutnya.



Gambar 4.
Diagram Penelitian *Outer Model* setelah Eliminasi Indikator

Average Variance Extracted (AVE)

Semakin tinggi nilai AVE, maka semakin bagus suatu variabel laten atau konstruk dalam menjelaskan *variance* dari indikator-indikatornya. Nilai AVE dikatakan valid apabila memiliki nilai > 0.5. Hasil uji validitas dapat dilihat pada Tabel 2. berikut. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai AVE diatas 0.5 sehingga dapat dikatakan bahwa semua variabel dinyatakan dapat menjelaskan *variance* dari indikator-indikatornya.

Tabel 2.
Hasil Uji Validitas dengan *nilai* AVE

Variabel	AVE	Keterangan
Pengendalian Material (Y)	0.609	Valid
Desain (X1)	0.715	Valid
Procurement (X2)	0.625	Valid
Logistik (X3)	0.682	Valid
Operasional (X4)	0.677	Valid
Residual (X5)	0.632	Valid
Produksi (X6)	0.688	Valid

Discriminant Validity

Discriminant Validity digunakan untuk mengukur sejauh mana suatu konstruk dalam *outer model* benar-benar berbeda atau dapat dibedakan dari konstruk lainnya. Salah satu metode untuk menilai validitas diskriminan adalah dengan membandingkan akar kuadrat dari nilai *Average Variance Extracted* (AVE) suatu konstruk dengan nilai korelasi antara konstruk tersebut dengan konstruk lain dalam model. Hasil dari Uji *Discriminant Validity* dapat dilihat pada Tabel 3. berikut.

Tabel 3.
Hasil Uji Validitas dengan *Discriminant Validity*

	DESAIN (X1)	LOGIS-TIK (X2)	OPERA-SIONAL (X3)	PROCUR-EMENT (X4)	PRO-DUKSI (X5)	RESI-DUAL (X6)	WASTE (Y)
DESAIN (X1)	0.846						
LOGISTIK (X2)	0.849	0.826					
OPERASIONAL (X3)	0.908	0.911	0.823				
PROCUREMENT (X4)	0.934	0.887	0.912	0.790			
PRODUKSI (X5)	0.856	0.912	0.917	0.918	0.829		
RESIDUAL (X6)	0.749	0.869	0.853	0.807	0.878	0.795	
WASTE (Y)	0.835	0.853	0.915	0.891	0.880	0.894	0.781

Cross Loading

Cross loading merupakan salah satu pendekatan untuk menguji validitas diskriminan dalam model pengukuran (*outer model*). Pendekatan ini dilakukan dengan membandingkan nilai outer loading dari setiap indikator terhadap konstruk (variabel laten) asalnya dengan nilai loading indikator yang sama terhadap konstruk lainnya dalam model. Validitas diskriminan dianggap terpenuhi jika nilai loading indikator terhadap konstruk asalnya lebih tinggi dibandingkan nilai loading-nya terhadap konstruk lain. Dengan demikian, pendekatan ini menguji apakah setiap indikator benar-benar lebih merepresentasikan konstruk yang seharusnya diukurnya, bukan konstruk lain.

Dari hasil pengolahan data seperti pada Tabel 4., nilai loading factor tersebut memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai *loading factor* dengan variabel lainnya, sehingga dapat dikatakan bahwa model valid.

Tabel 4.
Hasil Uji Validitas dengan *Discriminant Validity*

INDIKA-TOR	DESAIN (X1)	LOGISTIK (X2)	OPERASI-ONAL (X4)	PROCURE-MENT (X2)	PRODUKSI (X6)	RESIDUAL (X5)	WASTE MATERIAL (Y)
DSN1	**0.910**	0.721	0.768	0.840	0.730	0.578	0.675
DSN11	**0.854**	0.811	0.867	0.820	0.793	0.808	0.870
DSN12	**0.864**	0.780	0.791	0.822	0.746	0.691	0.731
DSN4	**0.890**	0.714	0.759	0.837	0.766	0.570	0.672
DSN5	**0.893**	0.761	0.829	0.841	0.810	0.655	0.761
DSN6	**0.792**	0.676	0.700	0.712	0.567	0.476	0.593
DSN8	**0.736**	0.600	0.645	0.671	0.595	0.626	0.644
DSN9	**0.813**	0.635	0.741	0.746	0.737	0.590	0.634

b. Uji Reabilitas
Composite Reability

Tabel 5.
Hasil Uji *Composite Reliability*

Reliabilitas	*Composit Reliability*	Keterangan
Waste Material (Y)	0.903	Reliabel
Desain (X1)	0.952	Reliabel
Procurement (X2)	0.930	Reliabel
Logistik (X3)	0.937	Reliabel
Operasional (X4)	0.893	Reliabel
Residual (X5)	0.895	Reliabel
Produksi (X6)	0.939	Reliabel

Composite reliability digunakan untuk mengukur konsistensi internal dari suatu konstruk dalam model pengukuran. Indikator ini menilai sejauh mana indikator-indikator yang membentuk suatu konstruk saling berkorelasi dan secara konsisten merepresentasikan konstruk tersebut. Sebuah konstruk dinyatakan memiliki reliabilitas internal yang baik apabila nilai *composite reliability*-nya lebih besar dari 0.70. Berdasarkan hasil uji *composit reliability* didapatkan bahwa semua variabel menunjukkan nilai diatas 0.7 sehingga semua variabel laten dapat dinyatakan reliabel.

Cronbach's Alpha

Cronbach's Alpha digunakan untuk mengukur konsistensi internal suatu variabel laten. Variabel laten dinyatakan reliabel jika memiliki nilai *Cronbach's Alpha* > 0.6. Berdasarkan hasil uji *Cronbach's Alpha* yang dapat dilihat pada Tabel 6. berikut, didapatkan bahwa variabel *waste* material, desain, *procurement*, logistik, operasional, residual dan produksi memiliki nilai *Cronbach's Alpha* diatas 0.7 hal ini menunjukkan pada data internal memiliki konsistensi yang tidak terlalu baik, tetapi semua variabel menunjukkan nilai diatas 0.6 sehingga semua variabel laten dapat dinyatakan reliabel.

Tabel 6.
Uji Reliabilitas & *Cronbach's Alpha*

Reliabilitas	*Cronbach's Alpha*	Keterangan
Waste Material (Y)	0.871	Reliabel
Desain (X1)	0.942	Reliabel
Procurement (X2)	0.913	Reliabel
Logistik (X3)	0.921	Reliabel
Operasional (X4)	0.841	Reliabel
Residual (X5)	0.853	Reliabel
Produksi (X6)	0.923	Reliabel

3.2 Uji Model Struktural (*Inner Model*)

a. *R-Square*

Tabel 7.
Nilai R^2 pada Variabel Endogen

	R-square	R-square adjusted
Waste (Y)	0.910	0.886

Berdasarkan Tabel 7. diatas, nilai *R-square* untuk variabel endogen *waste* material sebesar 0.910 menunjukkan bahwa 91% variabilitas *waste* material dapat dijelaskan oleh variabel-variabel eksogen dalam model. Sementara itu, nilai *Adjusted R-square* sebesar 0.886 mengindikasikan bahwa setelah penyesuaian terhadap jumlah variabel prediktor, model tetap memiliki kemampuan prediktif yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa model struktural yang dibangun relevan dan kuat dalam menjelaskan variabel *waste* material.

b. *F-Square*

Berdasarkan Tabel 8. berikut, nilai *F-square* menunjukkan kontribusi masing-masing variabel eksogen terhadap variabel endogen *waste* material. Variabel *Procurement* (X2), Operasional (X4), dan Residual (X5) semuanya termasuk dalam kategori kuat.

Tabel 8.
Nilai *Effect Size* pada Var. Endogen

	F-square	Ket
Desain (X1)→ *Waste(Y)*	0.030	Lemah
Procurement (X2)→ *Waste(Y)*	**0.212**	**Kuat**
Logistik (X3)→ *Waste(Y)*	0.062	Lemah
Operasional (X4)→ *Waste(Y)*	**0.281**	**Kuat**
Residual (X5)→ *Waste(Y)*	**0.475**	**Kuat**
Produksi (X6)→ *Waste(Y)*	0.026	lemah

Hal ini menunjukkan bahwa ketiga variabel tersebut memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan *waste* material pada proyek.

Sementara itu, variabel Desain (X1), Logistik (X3), dan Produksi (X6) memiliki nilai F-square yang rendah, masing-masing sebesar 0.030, 0.062, dan 0.026, yang dikategorikan sebagai lemah. Artinya, pengaruh ketiga variabel tersebut terhadap *waste* material relatif kecil dan kurang memberikan efek yang signifikan dalam model ini.

Tabel 9.
Hasil *Path Coefficient* model menggunakan *Boostraping*

Bootstraping	*Path Coefisients*	*T Statistics*	*P Values*	Pengaruh	Hasil
Desain (X1) → *Waste(Y)*	-0.165	0.557	0.577	Negatif Signifikan	Ditolak
Procurement (X2) → *Waste(Y)*	0.507	1.61	0.108	Positif Signifikan	Ditolak
Logistik (X3) → *Waste (Y)*	-0.216	0.956	0.339	Negatif Signifikan	Ditolak
Operasional (X4) → *Waste(Y)*	**0.545**	**2.208**	**0.027**	**Positif Signifikan**	**Diterima**
Residual (X5) → *Waste(Y)*	**0.478**	**3.048**	**0.002**	**Positif Signifikan**	**Diterima**
Produksi (X6) → *Waste(Y)*	-0.165	0.680	0.497	Negatif Signifikan	Ditolak

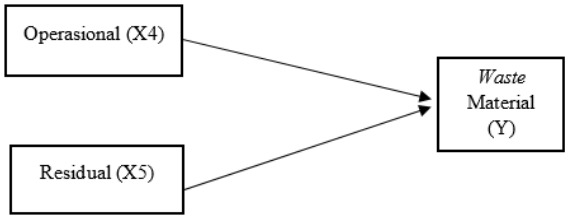
c. Uji Hipotesis

Berdasarkan Tabel 9. diatas, hasil analisis *path coefficient* menggunakan metode *bootstrapping* menunjukkan bahwa hanya dua variabel yang memiliki pengaruh signifikan secara statistic yaitu variabel Operasional (X4) dan Residual (X5) memiliki nilai P < 0.05, sehingga hipotesis diterima, yang berarti kedua variabel tersebut berpengaruh positif dan signifikan terhadap *waste* material.

Sementara itu, variabel Desain (X1), Procurement (X2), Logistik (X3), dan Produksi (X6) tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan karena memiliki nilai *T-statistic* < 1.96 dan *P-value* > 0.05. Oleh karena itu, hipotesis (H1) untuk keempat variabel tersebut ditolak, yang menunjukkan tidak terdapat pengaruh signifikan terhadap *waste* material.

a. Model Akhir Penelitian

Berdasarkan hasil pengujian hipotesis yang telah dilakukan melalui analisis path coefficient dengan metode bootstrapping, dapat diketahui bahwa dari enam variabel eksogen yang diuji terhadap variabel endogen waste material (Y), hanya dua hipotesis yang diterima karena memiliki pengaruh yang signifikan secara statistic yaitu variable Operasional (X4) dan Residual (X5). Dengan demikian model akhir tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5.
Model Akhir Penelitian

Melalui pendekatan *Partial Least Squares Structural Equation Modeling* (PLS-SEM), ditemukan bahwa hanya dua dari enam variabel independent yaitu variable operasional dan residual yang

berpengaruh signifikan terhadap timbulnya *waste* material. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar pemborosan terjadi pada tahap pelaksanaan dan pengelolaan sisa material konstruksi.

Variabel operasional terbukti sebagai faktor dominan. Kesalahan pemasangan, kerusakan material akibat pekerjaan lanjutan, serta penggunaan bahan yang tidak sesuai menjadi penyebab utama pemborosan. Hasil ini sejalan dengan studi sebelumnya oleh Osmani et al. (2008) dan Nawaz et al. (2022) yang menyebutkan bahwa ketidakefisienan pelaksanaan pekerjaan dan lemahnya pengawasan teknis merupakan kontributor signifikan terhadap *waste* material. Wawancara dengan pengawas lapangan mengonfirmasi temuan ini, dengan menyebutkan bahwa beberapa kejadian kerusakan material diakibatkan oleh kurangnya pengendalian mutu pekerjaan antar disiplin serta kurangnya pelatihan teknis bagi pekerja baru.

Variabel residual juga menunjukkan pengaruh yang kuat terhadap *waste* material, khususnya melalui indikator seperti sisa potongan tidak terpakai, *overmixing* material, dan limbah dari proses aplikasi. Hasil ini memperkuat temuan dari Luangcharoenrat et al. (2019) dan Yuliana et al. (2024), yang menekankan pentingnya pengelolaan material sisa dalam pengurangan pemborosan. Hasil wawancara dengan staf gudang dan logistik menunjukkan bahwa belum adanya sistem *reuse* yang sistematis di proyek menyebabkan sisa material sulit dimanfaatkan kembali, dan seringkali langsung dianggap limbah.

Sebaliknya, variabel desain, procurement, logistik, dan produksi tidak berpengaruh signifikan terhadap waste material. Hasil ini diperkuat melalui wawancara dengan tim proyek. Dari sisi desain, dukungan pemodelan 3D serta koordinasi antardisiplin melalui AutoCAD, Revit, dan Cubicost mampu meminimalkan perubahan mendadak dan kesalahan gambar. Pada aspek procurement, penerapan sistem just-in-time yang melibatkan koordinasi antara procurement, quantity surveyor, dan pelaksana proyek, serta pemantauan kebutuhan material secara berkala, berhasil mencegah kelebihan maupun kekurangan material. Dalam aspek logistik, sistem penyimpanan dan distribusi yang tertib meliputi pengelompokan berdasarkan zona kerja, perlindungan terhadap cuaca, dan penyesuaian distribusi dengan progres lapangan yang efektif mengurangi potensi pemborosan. Sementara itu, pada aspek produksi, pekerjaan dilaksanakan oleh tenaga berpengalaman dengan pengawasan ketat, dan sisa material dimanfaatkan kembali di area lain untuk menekan timbulnya *waste*.

Secara keseluruhan, model penelitian ini memiliki nilai *R-square* sebesar 0.910, yang berarti bahwa 91% variasi *waste* material dapat dijelaskan oleh enam variabel dalam model. Temuan ini menunjukkan bahwa proyek dengan sistem perencanaan dan koordinasi teknis yang baik seperti CWI-02 ITS, dapat meminimalkan pemborosan dari sisi desain, procurement, dan logistik, namun tetap rentan terhadap pemborosan yang bersumber dari fase pelaksanaan dan sisa material.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis menggunakan metode *Partial Least Squares Structural Equation Modeling* (PLS-SEM) menunjukkan bahwa hanya dua dari enam variabel yang memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap *waste* material, yaitu variabel operasional (dengan koefisien jalur 0.545 dan *p-value* 0.027) dan variabel residual (dengan koefisien jalur 0.478 dan *p-value* 0.002), sementara variabel desain, procurement, logistik, dan produksi tidak berpengaruh signifikan. Kesalahan dalam pelaksanaan di lapangan, kurangnya pengawasan kerja, dan pengelolaan material sisa yang tidak efisien merupakan penyebab utama pemborosan material pada proyek ini. Nilai *R-square*

sebesar 0.910 menegaskan bahwa model ini memiliki kemampuan prediktif yang sangat tinggi dalam menjelaskan variansi *waste* material.

Secara praktis, studi ini merekomendasikan langkah pengurangan *waste* seperti pelatihan teknis, pengawasan lintas tim, sistem *reward-punishment* berbasis performa *waste*, penerapan prinsip 3R, pembentukan bank material sisa, serta pemanfaatan teknologi BIM untuk estimasi material. Meski terbatas pada satu proyek dan jumlah responden tertentu, hasil penelitian ini dapat menjadi pijakan untuk studi lanjutan dengan cakupan lebih luas serta pendekatan kuantitatif-kualitatif guna memahami dinamika *waste* material secara lebih mendalam.

5. DAFTAR PUSTAKA

Bossink, B. A. G, dan Brouwers H. J. H. (1996) Construction Waste: Quantification And Source Evaluation. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 122, No.1, pp. 55 – 67.

Bulawan, Asril T. 2021. Identifikasi Penyebab Waste Material Pada Proyek Perumahan Di Kota Makassar. Makassar. Universitas Hasanuddin.

Ekanayake, L.L., Ofori, G. (2004). Building waste assessment score: Design-based tool. Building and Environment 39 (7) : 851-861. ScholarBank@NUS Repository

Iswinarno, N. M. (2017). Analisis pemborosan material (material waste) pada proyek bangunan gedung bertingkat di Daerah Istimewa Yogyakarta. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia Repository.

Gavilan, R. M., L. E., Bernold. 1994. Source Evaluation of Solid Waste In Building Construction. Journal of Construction Engineering and Management

Lu, W., Webster, C. J., Chen, X., Zhang, X., & Chen, D. (2022). Construction and Demolition Waste Management Research: A Science Mapping Analysis. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(9), 4496.

Malhotra, N. (2009). Riset Pemasaran Pendekatan Terapan Jilid 1. Jakarta: PT Index.

Yuliana, C., Sofia, E., Hidayat, G., & Munawarah. (2024). Analysis of remaining construction materials and their causal factors in building project. Jurnal Infrastruktur, 10(1), 51–59.

Nawaz, A., Chen, J., Su, X., & Zahid Hassan, H. M. (2022). Material-based penalty-cost quantification model for construction projects influencing waste management. Frontiers in Environmental Science, 10, 807359.

Osmani, M., Glass, J., & Price, A. D. F. (2008). Architects' perspectives on construction waste reduction by design. Waste Management, 28(7), 1147–1158.

Latan, H., & Ghozali, I. (2015). Partial Least Squares: Konsep, teknik, dan aplikasi menggunakan program SmartPLS 3.0 untuk penelitian empiris. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.

Sugiyono. (2010) Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D. Bandung: Alfabeta

Copyright© by the authors. Licensee Jurnal Ilmiah MITSU, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike (CC BY-NC-SA 4.0) license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Halaman ini sengaja dikosongkan