

Analisis Faktor-Faktor Penyebab Sisa Material pada Pekerjaan Arsitektural: Studi Kasus Proyek PLTU Sulsel Barru-2

Jamaluddin^{1*}, Arsyad Yunus¹, Hamzah¹

¹*Sekolah Tinggi Teknologi Baramuli Pinrang, Pinrang 91214, Sulawesi Selatan, Indonesia*

**Email: jamaluddin@stt-baramuli.ac.id*

Abstrak

Sisa material konstruksi arsitektural merupakan material yang tidak dapat dimanfaatkan sesuai rencana pekerjaan akibat kelebihan pemesanan, kerusakan, kesalahan pelaksanaan, perubahan desain, pekerjaan ulang, maupun ketidaksesuaian spesifikasi. Permasalahan ini menjadi salah satu sumber pemborosan pada proyek konstruksi karena berdampak pada peningkatan biaya dan efisiensi pelaksanaan pekerjaan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi jenis sisa material dominan serta menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi terjadinya sisa material pada pekerjaan arsitektural Proyek PLTU Sul-Sel Barru-2. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif melalui analisis statistik deskriptif, korelasi Pearson, dan regresi linier berganda. Data diperoleh dari observasi lapangan, dokumentasi proyek, serta kuesioner yang diberikan kepada responden yang terlibat dalam pengelolaan material proyek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bata ringan, plester, dan keramik merupakan material dengan volume sisa terbesar. Analisis korelasi menunjukkan adanya hubungan yang kuat dan signifikan antara volume sisa material dan biaya yang ditimbulkan, sehingga peningkatan volume sisa material berpotensi meningkatkan biaya proyek. Hasil regresi menunjukkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,192, yang berarti model hanya mampu menjelaskan 19,2% variasi sisa material konstruksi. Sementara itu, hasil uji simultan menghasilkan nilai Prob(F) sebesar 0,173 yang lebih besar dari 0,05, sehingga model regresi secara keseluruhan tidak signifikan dalam menjelaskan pengaruh faktor perencanaan, pengawasan, dan keterampilan pekerja terhadap sisa material konstruksi. Temuan ini mengindikasikan bahwa terdapat faktor-faktor lain di luar model penelitian yang lebih berpengaruh terhadap terjadinya sisa material pada pekerjaan arsitektural.

Kata kunci: *Biaya proyek; faktor penyebab; pekerjaan arsitektural; sisa material; waste konstruksi*

PENDAHULUAN

Material konstruksi merupakan komponen utama dalam penyusunan bangunan, baik struktural maupun non-struktural, dan menjadi faktor dominan dalam penentuan biaya proyek konstruksi (Akinade *et al.*, 2018; Luangcharoenrat *et al.*, 2019). Sisa material konstruksi didefinisikan sebagai

kelebihan material yang tidak menambah nilai pekerjaan, namun berdampak pada biaya proyek dan berpotensi menimbulkan masalah lingkungan (Chen *et al.*, 2021; Pakondo, dkk., 2023). Penelitian terbaru menegaskan bahwa penyebab timbulnya sisa material antara lain adalah perencanaan yang kurang matang, pengawasan yang lemah, keterbatasan lahan penyimpanan, serta keterampilan pekerja yang tidak sesuai dengan jenis pekerjaan (Fitriani, dkk., 2024; Dahana, dkk., 2024). Sisa material konstruksi perlu dikelola karena berpengaruh terhadap biaya proyek, produktivitas, mutu pekerjaan, kebersihan lokasi, keselamatan kerja, serta dampak lingkungan. Formoso *et al.*, (2002) menjelaskan bahwa pemborosan material pada proyek bangunan dapat terjadi dalam jumlah yang cukup besar dan sebagian besar dapat dicegah melalui perbaikan manajerial, terutama pada tahap perencanaan, pengadaan, penyimpanan, dan pengendalian pelaksanaan di lapangan. Dalam konteks pekerjaan arsitektural, potensi sisa material semakin besar karena material finishing sering memiliki ukuran modular, pola pemasangan tertentu, tuntutan estetika, dan toleransi mutu yang lebih ketat dibandingkan dengan pekerjaan kasa.

Penyebab utama sisa material arsitektural dapat dikelompokkan menjadi lima faktor. Pertama, faktor desain, seperti perubahan gambar kerja, detail arsitektur yang belum matang, ukuran ruang yang tidak mengikuti modul material, serta kurangnya koordinasi antara desain arsitektur, struktur, dan mekanikal-elektrikal-plumbing. Osmani *et al.*, (2008) menekankan bahwa arsitek memiliki peran penting dalam mengurangi limbah konstruksi melalui keputusan desain, pemilihan material, modularisasi, dan penyusunan detail konstruksi yang mudah dilaksanakan. Faktor pengadaan, seperti pemesanan material yang tidak berdasarkan perhitungan volume akurat, pembelian berlebih, serta pengiriman material yang tidak sesuai jadwal. Faktor pelaksanaan, seperti kesalahan pemotongan keramik, panel, kaca, gypsum, atau aluminium, rendahnya keterampilan tenaga kerja, serta pekerjaan ulang akibat mutu pemasangan tidak sesuai spesifikasi. Mahamid (2020) menunjukkan bahwa pekerjaan ulang atau rework, kesalahan pekerja, perubahan desain, dan kesalahan detail konstruksi merupakan penyebab penting timbulnya sisa material pada proyek bangunan. Tam (2008) menjelaskan bahwa penerapan waste management plan dapat meningkatkan efektivitas pengelolaan limbah konstruksi, terutama apabila diterapkan sejak awal pekerjaan. Faktor penyimpanan dan penanganan material, misalnya keramik pecah karena penumpukan tidak benar, gypsum rusak akibat lembap, cat mengering karena wadah tidak tertutup, atau kaca retak akibat pemindahan yang tidak aman. Faktor manajemen proyek, seperti lemahnya pengawasan, tidak adanya rencana pengelolaan limbah, kurangnya pemisahan material sisa, dan tidak adanya target pengurangan limbah

Strategi pengurangan sisa material arsitektural perlu dilakukan sejak tahap desain sampai pascakonstruksi. Pada tahap desain, pengurangan dapat dilakukan melalui penerapan modular design, standardisasi ukuran bukaan, koordinasi gambar lintas disiplin, pemilihan material yang mudah dipasang, dan penyusunan detail yang meminimalkan pemotongan. Teknologi Building Information Modeling atau BIM juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi konflik desain, menghitung kebutuhan material secara lebih akurat, serta mendukung prinsip designing out waste. Akinade *et al.*, (2018) menyatakan bahwa BIM dapat membantu pengurangan limbah konstruksi melalui kolaborasi desain, analisis limbah sepanjang siklus hidup bangunan, peningkatan dokumentasi, dan pengambilan keputusan berbasis informasi sebelum pekerjaan dilaksanakan. Pada tahap pengadaan, kontraktor perlu menyusun daftar kebutuhan material berbasis volume pekerjaan aktual, menetapkan toleransi waste faktor yang rasional, memilih pemasok yang menerima retur material layak pakai, serta menjadwalkan pengiriman sesuai kebutuhan lapangan. Pada tahap pelaksanaan, pengurangan sisa material dapat dilakukan melalui shop drawing yang jelas, mock-up pekerjaan finishing, instruksi kerja pemotongan, pengawasan mutu, pelatihan pekerja, serta penggunaan kembali potongan material untuk area tersembunyi atau pekerjaan minor. Ajayi *et al.*, (2017) menekankan bahwa praktik manajemen lapangan, seperti koordinasi, komitmen manajemen, tanggung jawab subkontraktor, pengawasan, dan pengendalian pekerjaan, berpengaruh besar terhadap minimisasi limbah di lokasi proyek.

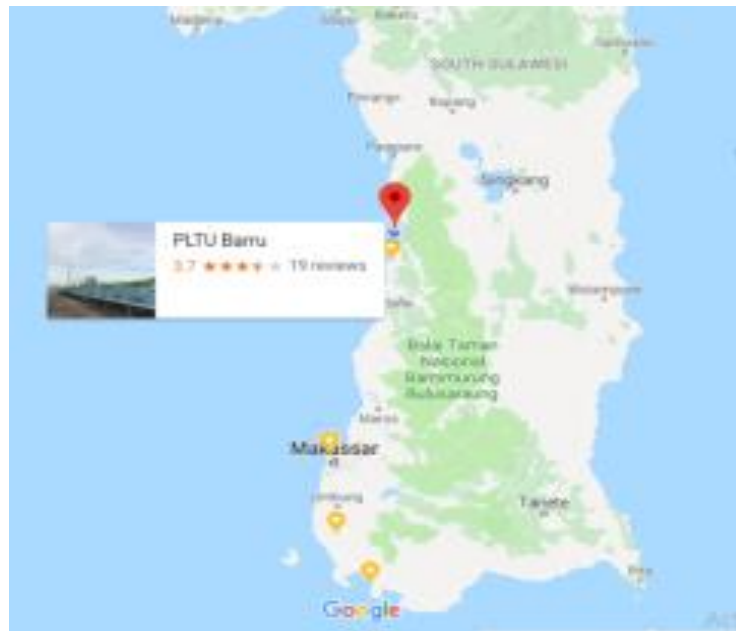
Pengelolaan sisa material arsitektural sebaiknya mengikuti hierarki: mencegah, mengurangi, menggunakan kembali, mendaur ulang, dan membuang secara aman. Material seperti keramik pecah, bata ringan, mortar, dan beton ringan dapat dipertimbangkan sebagai material urugan atau bahan daur ulang tertentu; kayu bekas dapat digunakan kembali sebagai bekisting ringan atau elemen nonstruktural; gypsum perlu dipisahkan agar tidak tercampur dengan material basah; sedangkan kaca, aluminium, dan logam memiliki peluang daur ulang yang relatif baik. Purchase *et al.*, (2022) menjelaskan bahwa pendekatan ekonomi sirkular dalam limbah konstruksi dan pembongkaran penting untuk mempertahankan nilai material, mengurangi kebutuhan bahan baku baru, serta menekan beban lingkungan. Dengan demikian, sisa material konstruksi arsitektural bukan hanya persoalan kebersihan proyek, tetapi juga indikator efektivitas desain, ketepatan perencanaan, mutu manajemen lapangan, dan komitmen keberlanjutan. Pengendalian sisa material harus dimulai dari desain yang efisien, perhitungan kebutuhan material yang akurat, pengadaan yang terkendali, penyimpanan yang baik, pelaksanaan yang disiplin, serta pemilahan dan pemanfaatan kembali material sisa. Semakin baik sistem pengendalian tersebut, semakin rendah biaya pemborosan material, semakin bersih dan aman lokasi proyek, serta semakin kecil dampak lingkungan dari kegiatan konstruksi arsitektural.

Bangunan gedung merupakan salah satu jenis pekerjaan konstruksi yang berpotensi besar menghasilkan sisa material. Bidang pekerjaan arsitektural, terutama pemasangan dinding, plesteran, dan keramik lantai, terbukti menyumbang volume sisa material terbesar (Ajayi *et al.*, 2019; Elizar, dkk., 2024). Namun demikian volume sisa material konstruksi perlu ditinjau lebih jauh berdasarkan faktor-faktor seperti perencanaan, pengawasan dan pekerja material pada suatu proyek konstruksi. Pada Proyek Pembangunan PLTU Sul-Sel Barru-2, pekerjaan arsitektural menjadi salah satu kegiatan utama yang menghasilkan sisa material signifikan dan dapat merugikan proyek. Proyek ini merupakan proyek strategis nasional untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Sulawesi Selatan yang mendepankan prinsip *green construction*. Olehnya itu salah satu aspek penting dalam prinsip *green construction* adalah aspek terkait dengan *waste construction*. Dengan memahami faktor signifikan yang mempengaruhi volume *waste construction*, maka pencegahan dan pengelolaan *waste construction* dapat dilakukan dengan lebih baik. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan mengevaluasi jenis material dengan volume serta biaya sisa terbesar pada pekerjaan arsitektural, sekaligus mengidentifikasi faktor-faktor penyebab timbulnya sisa material agar dapat dilakukan pengendalian yang tepat. Penelitian ini juga untuk melihat signifikansi faktor-faktor perencanaan, pengawasan, dan keterampilan pekerja berperan dalam menentukan volume sisa material konstruksi arsitektural. Signifikansi ini penting guna memberikan gambaran yang jelas terkait pengaruh ketiga faktor tersebut yang telah disebutkan dalam beberapa penelitian sebelumnya.

METODE PENELITIAN

Deskripsi Lokasi Penelitian

Proyek konstruksi PLTU Sulsel Barru 2 berlokasi di Desa Lampoko, Kecamatan Balusu, Kabupaten Barru, Sulawesi Selatan. Di sepanjang pesisir utara Makassar, ibu kota Provinsi Sulawesi Selatan, dengan jarak sekitar 105 km dari pusat kota Makassar, dengan koordinat geografisnya adalah 4° 17' 29.78" lintang selatan; 119° 37' 53.70" bujur timur (Gambar 1). Pembangunan PLTU Sulsel Barru 2 (1x100MW) ini dikerjakan oleh Consortium of Wijaya Karya (Persero) Tbk and Mitsubishi Corporation, diawasi pekerjaannya oleh PT. Prima Layanan Nasional Engineering sebagai pengawas design review dan konstruksi. Pengawasan QAQC dilakukan oleh PLN Pusmanpro. Pembangunan PLTU Sulsel Barru 2 (1x100 MW) ini direncanakan konstruksinya 36 bulan dan 12 bulan untuk masa garansi yang dimulai pada tanggal 26 Maret 2018 dan rencana COD pada tanggal 26 Maret 2021. Nilai Kontrak kurang lebih sebesar Rp 4 triliun, dengan rincian sebagai berikut: USD 86.761.847,-, EUR 12.502.877,-, JPY 2.308.410.281,- dan IDR 1.313.112.834.021,-



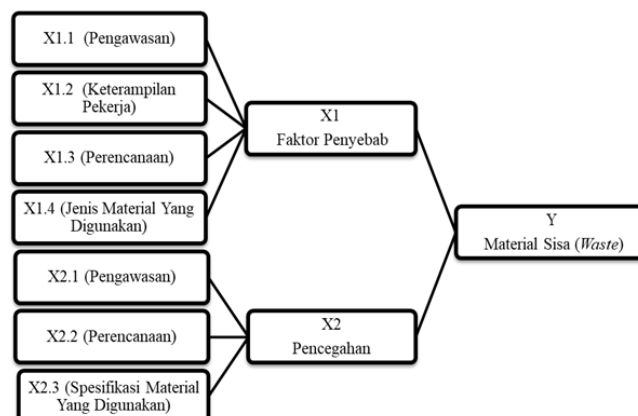
Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian.

Populasi dan Sampel

Populasi penelitian ini adalah pekerja pada proyek-proyek pembangunan PLTU Sul-Sel Barru-2 yang bekerja pada unit logistik, gudang, pengadaan material pekerjaan arsitektural, yang telah melakukan pekerjaan konstruksi gedung dengan interval 5 tahun. Sedangkan objek yang akan diteliti yaitu sisa material pada pekerjaan arsitektur. Populasi pekerja sebanyak 300 orang pada seluruh tingkatan manajemen. Setelah dilakukan seleksi, hanya 60 yang memenuhi kriteria penelitian. Berdasarkan pertimbangan bahwa seluruh pekerja proyek memiliki tanggung jawab yang berbeda atau tidak sama, pengambilan sampel dalam penelitian ini menggunakan teknik purposive sampling, yakni suatu teknik sampling nonprobabilitas di mana responden dipilih berdasarkan pertimbangan tertentu.

Kerangka Konsep Penelitian

Kerangka konsep penelitian adalah uraian dan visualisasi hubungan antarvariabel dan hubungan variabel dengan masalah yang akan diteliti. Secara konseptual tertuang dalam Gambar 2 berikut:



Gambar 2 Kerangka Konsep.

Pengumpulan Data

Data penelitian terdiri dari 2 jenis yaitu data primer dan data sekunder, sedangkan pengumpulan data pada penelitian kuantitatif dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa cara antara lain angket, observasi, wawancara, studi literatur dan studi dokumen. Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung dari obyek penelitian. Pada penelitian ini informasi berasal dari 60 responden Data dikumpulkan dengan menggunakan alat ukur berupa Kuesioner, wawancara dan observasi. Untuk mendapatkan kejelasan, wawancara dilakukan pada kontraktor dan pekerja, demikian pula kuesionernya. Kegiatan dilanjutkan dengan brainstorming dan wawancara kepada dua orang pelaksana di lapangan untuk mengevaluasi hasil Kuesioner yang telah didapat dan untuk memperoleh hasil akhir yang valid. Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan statistik non-parametrik, yaitu statistik bebas sebaran (tidak mensyaratkan bentuk sebaran parameter populasi, baik normal atau tidak). Selain itu, dilakukan juga observasi yang dimaksudkan sebagai langkah pemeriksaan silang atas data yang diperoleh dari kuesioner dan wawancara. Kuesioner penelitian ini disusun berdasarkan kondisi lapangan yang berhubungan dengan sisa material. Terdapat pula beberapa pertanyaan tentang penyebab serta solusi/tindakan pencegahan untuk meminimalkan terjadinya sisa material. Penilaian responden menggunakan kuesioner dengan kategori jawaban persentase, serta pilihan tingkat sering atau tidaknya suatu kejadian. Adapun kuesioner terdiri dari 4 bagian, yaitu:

1. Kuesioner bagian I, yaitu bagian umum yang berisi tentang kata pengantar, profil data umum responden, serta data umum proyek yang sedang dikerjakan.
2. Kuesioner bagian II, yaitu bagian ini berisi persentase sisa masing-masing material pada pekerjaan struktur.
3. Kuesioner bagian III, yaitu bagian ini berisi tentang tingkat frekuensi kejadian penyebab adanya material sisa/sisa material.
4. Kuesioner bagian IV, yaitu bagian ini berisi tentang tingkat solusi-solusi yang diberikan sebagai tindakan pencegahan terhadap adanya sisa-sisa material.

Data sekunder adalah data yang diperoleh melalui perantara atau pihak yang telah mengumpulkan data tersebut sebelumnya, dengan kata lain peneliti tidak langsung mengambil data sendiri ke lapangan. Pada penelitian ini, data sekunder diperoleh dari data-data proyek pembangunan PLTU Barru-2. Data tersebut antara lain adalah:

1. *As-Built Drawing* untuk menghitung volume material terpasang,
2. Laporan harian/mingguan untuk menghitung volume pembelian material,
3. Data harga material untuk mengetahui harga dan jenis-jenis material yang digunakan pada proyek.

Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini akan menggunakan software SPSS untuk memperoleh hasil uji:

1. Analisis univariat digunakan untuk melihat gambaran karakteristik penelitian : usia, pendidikan, pengalaman kerja, jumlah proyek yang pernah ditangani, dan jabatan. Berikut contoh hasil analisis SPSS yang diperoleh pada analisis univariat.
2. Uji Person Corelation, digunakan dalam:
 - a. Analisis jenis material sisa pada pekerjaan arsitektural
 - b. Analisis hubungan material sisa pada pekerjaan arsitektur dan biaya yang ditimbulkan

Uji *Pearson Correlation*:

- c. Uji normalitas data untuk menentukan penggunaan jenis uji yang akan digunakan
- d. Berikutnya dilakukan uji *Pearson Correlation* untuk melihat hubungan antara material sisa dan biaya yang timbul.

3. Analisis Regresi Linear Berganda:

- Analisis faktor-faktor penyebab timbulnya material sisa pada pekerjaan arsitektural. Sebelum menentukan jenis uji, dilakukan uji normalitas data untuk memastikan distribusinya
- Berikutnya dilakukan uji regresi
- Analisis hubungan antara tindakan pencegahan dengan sisa material yang dihasilkan pada pekerjaan arsitektural, terlebih dahulu dilakukan uji normalitas data untuk memastikan distribusinya
- Berikutnya, uji regresi dilakukan setelah rangkaian olah data dirampungkan. Selanjutnya, penulisan laporan penelitian dilakukan dalam bentuk hasil penelitian dan pembahasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN**Analisis Volume Sisa Material Pekerjaan Arsitektural**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa material sisa terbesar pada pekerjaan arsitektural Proyek PLTU Sulsel Barru-2 berasal dari pekerjaan pemasangan bata ringan, pekerjaan plester, dan pemasangan keramik. Volume rata-rata sisa material bata ringan mencapai 197,88 m² dengan standar deviasi sebesar 132,49 m², sedangkan pekerjaan plester menghasilkan rata-rata sisa material sebesar 190,73 m² dengan standar deviasi 132,69 m². Adapun pemasangan keramik menghasilkan sisa material rata-rata sebesar 45,97 m² dengan standar deviasi 31,37 m². Nilai standar deviasi yang relatif besar menunjukkan bahwa variasi volume sisa material antararea pekerjaan cukup tinggi. Tingginya volume sisa material pada pekerjaan bata ringan dan plester menunjukkan bahwa pekerjaan dinding merupakan sumber utama limbah konstruksi pada proyek ini. Kondisi tersebut dapat terjadi karena beberapa faktor, antara lain adanya pemotongan material pada sudut ruangan, penyesuaian dimensi bukaan pintu dan jendela, perubahan desain selama pelaksanaan, kerusakan material akibat penyimpanan yang kurang baik, serta pekerjaan ulang (rework) yang menyebabkan material tidak dapat digunakan kembali.

Tabel 1. Volume Sisa Material pada Pekerjaan Arsitektural Proyek PLTU Sulsel Barru-2

Jenis Material Sisa	Mean $\pm$ SD (m ²)	Median (Min–Max) (m ²)
Bata Ringan	197,88 $\pm$ 132,49	162,12 (135,1–810,6)
Keramik	45,97 $\pm$ 31,37	38,28 (6,38–159,5)
Plester	190,73 $\pm$ 132,69	148,61 (54,04–810,6)

Pada pekerjaan plester, tingginya volume sisa material umumnya disebabkan oleh kehilangan material selama proses pencampuran dan aplikasi di lapangan. Sebagian mortar yang telah dicampur tidak dapat digunakan seluruhnya karena waktu ikat material yang terbatas, sehingga menjadi limbah konstruksi. Selain itu, ketidakraturan permukaan pasangan bata juga meningkatkan kebutuhan plester dan berpotensi menambah volume sisa material. Sementara itu, volume sisa material keramik relatif lebih rendah dibandingkan dengan bata ringan dan plester. Namun demikian, pekerjaan keramik memiliki karakteristik khusus karena sebagian besar waste berasal dari proses pemotongan material untuk menyesuaikan pola pemasangan dan dimensi ruang. Pada pekerjaan finishing, tuntutan estetika yang tinggi sering menyebabkan potongan keramik tidak dapat dimanfaatkan kembali, sehingga meningkatkan persentase waste. Temuan ini sejalan dengan penelitian Ajayi *et al.*, (2019) dan Elizar, dkk., (2024) yang menyatakan bahwa pekerjaan dinding dan finishing merupakan kontributor terbesar limbah konstruksi pada proyek bangunan gedung. Secara teknis, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengendalian waste perlu difokuskan pada pekerjaan pasangan dinding dan finishing karena kedua jenis pekerjaan tersebut memberikan kontribusi terbesar terhadap pemborosan material.

Analisis Hubungan Volume Sisa Material dan Biaya Proyek

Hasil analisis korelasi Pearson menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat antara volume sisa material dengan biaya yang ditimbulkan. Pada pekerjaan bata ringan diperoleh koefisien korelasi sebesar 0,864 dengan nilai signifikansi 0,000. Pada pekerjaan keramik koefisien korelasi mencapai 0,929 dengan nilai signifikansi 0,000, sedangkan pada pekerjaan plester diperoleh koefisien korelasi sebesar 0,832 dengan nilai signifikansi 0,000. Berdasarkan kriteria interpretasi koefisien korelasi, seluruh nilai korelasi berada pada kategori hubungan sangat kuat ($r > 0,80$). Nilai signifikansi yang lebih kecil dari 0,05 menunjukkan bahwa hubungan tersebut signifikan secara statistik. Hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan volume sisa material akan diikuti oleh peningkatan biaya proyek secara langsung. Hubungan paling kuat ditemukan pada material keramik dengan nilai korelasi sebesar 0,929. Kondisi ini dapat dijelaskan karena harga satuan keramik relatif lebih tinggi dibandingkan dengan material bata ringan maupun plester, sehingga setiap peningkatan volume waste akan menghasilkan kenaikan biaya yang lebih besar.

Tabel 2. Hubungan Volume Sisa Material dengan Biaya Sisa Material

Variabel	Koefisien Korelasi (r)	p-value
Sisa Bata Ringan – Biaya Sisa Bata Ringan	0,864	< 0,001
Sisa Keramik – Biaya Sisa Keramik	0,929	< 0,001
Sisa Plester – Biaya Sisa Plester	0,832	< 0,001

Keterangan: Uji Pearson Correlation

Pada pekerjaan bata ringan, korelasi sebesar 0,864 menunjukkan bahwa sebagian besar biaya tambahan yang terjadi pada pekerjaan dinding berkaitan langsung dengan jumlah material yang terbuang. Semakin besar volume bata ringan yang tidak terpakai, semakin besar pula biaya pengadaan material pengganti yang harus dikeluarkan kontraktor. Demikian pula, pada pekerjaan plester, korelasi sebesar 0,832 menunjukkan bahwa kehilangan material mortar selama proses pelaksanaan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pembengkakan biaya proyek. Selain biaya pembelian material tambahan, waste plester juga meningkatkan biaya tenaga kerja karena diperlukan waktu tambahan untuk membersihkan area kerja dan menangani limbah yang dihasilkan. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperkuat teori manajemen konstruksi yang menyatakan bahwa waste material merupakan salah satu sumber utama cost overrun pada proyek bangunan. Oleh karena itu, pengurangan waste tidak hanya memberikan manfaat lingkungan, tetapi juga meningkatkan efisiensi ekonomi proyek melalui penghematan biaya material.

Analisis Faktor Penyebab Timbulnya Sisa Material

Analisis regresi linier berganda digunakan untuk mengetahui pengaruh faktor pengawasan, keterampilan pekerja, perencanaan, dan jenis material terhadap volume sisa material konstruksi. Persamaan regresi yang diperoleh adalah:

$$Y = 769,903 - 37,867X_1 + 49,183X_2 + 89,283X_3 - 22,422X_4$$

dimana:

- X_1 = Pengawasan
- X_2 = Keterampilan pekerja
- X_3 = Perencanaan
- X_4 = Jenis material
- Y = Volume sisa material

Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,192 menunjukkan bahwa model hanya mampu menjelaskan 19,2% variasi volume sisa material konstruksi. Dengan demikian, masih terdapat 80,8%

variasi yang dipengaruhi oleh faktor lain di luar model penelitian. Nilai R^2 yang relatif rendah mengindikasikan bahwa penyebab timbulnya waste konstruksi pada pekerjaan arsitektural bersifat kompleks dan multidimensional. Faktor lain yang berpotensi berpengaruh antara lain perubahan desain selama pelaksanaan, kualitas material yang diterima di lapangan, metode penyimpanan material, kondisi cuaca, koordinasi antarsubkontraktor, sistem pengadaan material, serta tingkat pengendalian mutu pekerjaan. Hasil uji parsial menunjukkan bahwa variabel perencanaan memiliki nilai t sebesar 0,947 dengan probabilitas 0,035 yang lebih kecil dari 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa perencanaan berpengaruh signifikan terhadap volume sisa material konstruksi. Koefisien regresi positif sebesar 89,283 menunjukkan bahwa perubahan kondisi perencanaan memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap perubahan volume waste yang dihasilkan. Temuan ini mengindikasikan bahwa ketidaktepatan perencanaan kebutuhan material, kesalahan estimasi volume pekerjaan, kurangnya koordinasi desain, serta perubahan pekerjaan selama konstruksi menjadi penyebab utama timbulnya waste pada proyek PLTU Sulsel Barru-2. Hasil ini konsisten dengan penelitian Formoso *et al.*, (2002), Chen *et al.*, (2021), dan Fitriani, dkk., (2024) yang menempatkan aspek perencanaan sebagai faktor dominan penyebab pemborosan material konstruksi. Sebaliknya, variabel pengawasan memiliki nilai probabilitas sebesar 0,590, keterampilan pekerja sebesar 0,589, dan jenis material sebesar 0,777. Ketiga nilai tersebut lebih besar dari 0,05 sehingga tidak berpengaruh signifikan secara parsial terhadap volume sisa material.

Tabel 3. Hasil Analisis Regresi Linear Berganda Faktor Penyebab Sisa Material Konstruksi

Variabel	Koefisien Regresi	t-hitung	p-value
Pengawasan	-37,867	-0,544	0,590
Keterampilan Pekerja	49,183	0,547	0,589
Perencanaan	89,283	0,947	0,035*
Jenis Material yang Digunakan	-22,422	-0,285	0,777
Konstanta	769,903	-	-
Statistik Model			
R^2			0,192
Adjusted R^2			0,080
F-hitung			1,718
Sig. F			0,173

Keterangan: * signifikan pada $\alpha = 0,05$

Ketidaksignifikanan faktor pengawasan dapat disebabkan oleh sistem pengawasan proyek PLTU Sulsel Barru-2 yang telah berjalan relatif seragam pada seluruh area pekerjaan sehingga tidak menghasilkan variasi yang cukup besar untuk memengaruhi volume waste. Demikian pula pada faktor keterampilan pekerja, sebagian besar tenaga kerja telah memiliki pengalaman yang relatif homogen sehingga pengaruhnya terhadap variasi waste menjadi tidak terlihat secara statistik. Meskipun terdapat satu variabel yang signifikan secara parsial, hasil uji simultan menunjukkan nilai F-statistic sebesar 1,718 dengan probabilitas 0,173 ($>0,05$). Hal ini berarti bahwa secara bersama-sama seluruh variabel dalam model belum mampu menjelaskan variasi volume sisa material secara signifikan. Dengan kata lain, model regresi yang dibangun masih memerlukan variabel tambahan agar mampu menggambarkan penyebab waste konstruksi secara lebih komprehensif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa material sisa terbanyak pada pekerjaan arsitektural adalah bata ringan, plester, dan keramik. Rerata volume sisa material mencapai 197,88 m² untuk bata ringan, 190,73 m² untuk plester, dan 45,97 m² untuk keramik. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menegaskan bahwa pekerjaan dinding dan finishing merupakan sumber dominan sisa material konstruksi (Ajayi *et al.*, 2019; Elizar, dkk., 2024). Analisis hubungan antara jumlah sisa material dan biaya menunjukkan korelasi yang kuat dan signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar volume sisa material, semakin besar pula biaya tambahan yang ditimbulkan, sejalan dengan temuan Hosseini *et al.*, (2018) dan Luangcharoenrat *et al.*, (2019) yang menekankan dampak langsung waste terhadap biaya proyek. Faktor-faktor penyebab timbulnya sisa material diuji melalui analisis regresi. Hasil menunjukkan bahwa faktor perencanaan merupakan penyebab utama yang berpengaruh signifikan terhadap volume sisa material. Sementara faktor pengawasan, keterampilan pekerja, dan jenis material yang digunakan tidak berpengaruh signifikan. Hasil ini konsisten dengan penelitian Chen *et al.*, (2021) dan Fitriani, dkk., (2024) yang menekankan pentingnya kualitas perencanaan dalam mengurangi waste. Penelitian lain juga mendukung temuan ini. Dahana, dkk., (2024) menunjukkan bahwa kelemahan dalam perencanaan dan koordinasi berkontribusi terhadap meningkatnya sisa material. Begitu pula studi Pakondo, dkk., (2023) yang menemukan bahwa lemahnya manajemen konstruksi dan pengawasan berperan terhadap tingginya volume waste. Nashruddin & Rachmawati (2022) menambahkan bahwa meskipun sistem manajemen waste telah diterapkan di beberapa proyek, efektivitasnya masih rendah jika tidak ditunjang dengan perencanaan yang matang. Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa faktor perencanaan adalah variabel kunci yang harus diperhatikan dalam upaya pengendalian sisa material pekerjaan arsitektural. Upaya pengendalian yang terintegrasi, mulai dari tahap desain hingga implementasi di lapangan, menjadi langkah strategis untuk menekan dampak biaya dan lingkungan akibat waste konstruksi.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa jenis material yang memiliki volume dan biaya sisa material terbesar pada pekerjaan arsitektural pada proyek pembangunan PLTU Sul-Sel Barru-2 adalah material sisa pemasangan bata ringan dengan rerata 197,88 m², diikuti oleh material sisa pengerjaan plester dengan rerata 190,73 m², serta material sisa pemasangan keramik dengan rerata 45,97 m². Adapun faktor perencanaan, pengawasan, dan keterampilan pekerja tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap timbulnya sisa material konstruksi. Nilai R² sebesar 0,192 menunjukkan bahwa ketiga faktor tersebut hanya mampu menjelaskan 19,2% variasi sisa material konstruksi, sementara sisanya sebesar 80,8% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain di luar model. Hal ini diperkuat oleh nilai signifikansi F sebesar 0,173 yang lebih besar dari taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, sehingga dapat disimpulkan bahwa secara simultan ketiga faktor tersebut tidak berpengaruh signifikan terhadap sisa material konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajayi, S.O., Oyedele, L.O., Bilal, M., Akinade, O.O., Alaka, H.A., Owolabi, H.A., and Kadiri, K.O., 2017. *Critical Management Practices Influencing On-Site Waste Minimization In Construction Projects*. Waste Management. 59: 330–339. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.040>.
- Ajayi, S.O., Oyedele, L.O., Akinade, O.O., Bilal, M., Alaka, H.A., Owolabi, H.A., and Kadiri, K.O., 2019. *Attributes of Design That Influence Waste Generation in Construction Projects*. Journal of Cleaner Production. 229: 121–131.
- Akinade, O.O., Oyedele, L.O., Ajayi, S.O., Bilal, M., Alaka, H.A., Owolabi, H.A., and Arawomo, O.O., 2018. *Designing Out Construction Waste Using BIM Technology: Stakeholders' Expectations For Industry Deployment*. Journal of Cleaner Production. 180: 375–385. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.022>.

- Chen, J., Hao, H., Li, H., and Xu, C., 2021. *Construction and Demolition Waste Management: China's Lessons*. Waste Management. 123: 153–167.
- Dahana, P.A., Achiyar, dan Firmawan, F., 2024. *Kajian Pengelolaan Limbah Konstruksi pada Proyek Roudlatul Ulum Nurul Huda*. Indonesian Journal of Civil Engineering Study. 1(1).
- Elizar, V., Anggreana, V., dan Alwiah, S., 2024. *Manajemen Waste Konstruksi dalam Pembangunan Forest City*. Jurnal Konstruksi Teknik Sipil. 1(2).
- Fitriani, N., Nuswantoro, W., dan Purwantoro, A., 2024. *Identifikasi Waste dalam Proyek Jembatan Kahayan pada Lean Project Management*. Portal: Jurnal Teknik Sipil.
- Formoso, C.T., Soibelman, L., De Cesare, C., and Isatto, E.L., 2002. *Material Waste In Building Industry: Main Causes and Prevention*. Journal of Construction Engineering and Management. 128(4): 316–325. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2002\)128:4\(316\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:4(316)).
- Hosseini, M.R., Maghrebi, M., Akbarnezhad, A., Martek, I., and Arashpour, M., 2018. *Analysis of Construction Waste Generation and Its Impact on Cost Overruns In Residential Projects*. Journal of Construction Engineering and Management. 144(9).
- Luangcharoenrat, C., Intrachoto, S., Peansupap, V., and Sutthinarakorn, W., 2019. *Factors Influencing Construction Waste Generation In Building Construction: Thailand's Perspective*. Sustainability. 11(13): 3638.
- Mahamid, I., 2020. *Impact of Rework on Material Waste In Building Construction Projects*. International Journal of Construction Management. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1728607>.
- Nashruddin, A.Z., dan Rachmawati, F., 2022. *Evaluasi Waste Management pada Proyek Gedung di Surabaya*. Jurnal Aplikasi Teknik Sipil. 20(3).
- Osmani, M., Glass, J., and Price, A.D.F., 2008. *Architects' Perspectives on Construction Waste Reduction by Design*. Waste Management, 28(7): 1147–1158. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.05.011>.
- Pakondo, S.T., Abduh, N., dan Yunus, A.Y., 2023. *Faktor-Faktor Mempengaruhi Limbah Konstruksi di Pembangunan Mal Pelayanan Publik Gowa*. Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi.
- Purchase, C.K., Al Zulayq, D.M., O'Brien, B.T., Kowalewski, M.J., Berenjian, A., Tarighaleslami, A. H., and Seifan, M., 2022. *Circular Economy of Construction and Demolition Waste: A Literature Review on Lessons, Challenges, and Benefits*. Materials. 15(1): 76. <https://doi.org/10.3390/ma15010076>.
- Tam, V.W.Y., 2008. *On the Effectiveness in Implementing A Waste-Management-Plan Method in Construction*. Waste Management. 28(6): 1072–1080. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.04.007>.