

# Analisis Komparatif Volcanic dan Flamed Andesite Stone sebagai Material Fasad Gedung Pesisir: Pendekatan AHP, LCC, dan Standar SMK

## *Comparative Analysis of Volcanic and Flamed Andesite Stone as Facade Materials for Coastal Buildings: AHP, LCC, and SMK Standard Approaches*

Cici Aulia Darma<sup>1</sup>, Azaria Andreas<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pancasila, Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan, Indonesia

\* Penulis korespondensi : azaria.andrea@univpancasila.ac.id

Tel.: +62-81-340-031685

Diterima: Feb 19, 2026; Direvisi: Apr 19, 2026; Disetujui: April 20, 2026.

DOI: 10.25299/saintis.2026.vol26(01).27336

### Abstrak

Proyek konstruksi di kawasan pesisir memiliki tingkat kompleksitas tinggi akibat pengaruh lingkungan yang ekstrem, seperti salinitas udara laut, kelembaban tinggi, serta paparan radiasi ultraviolet. Kondisi tersebut menuntut pemilihan material fasad yang tidak hanya memenuhi aspek estetika, tetapi juga mempertimbangkan ketahanan material, biaya siklus hidup (*life cycle cost*), serta risiko keselamatan dan kesehatan kerja (K3) selama proses pemasangan. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan pemberi kerja dalam menentukan alternatif material fasad yang paling optimal pada tahap perencanaan Proyek Gedung yang berlokasi di kawasan pesisir Bali. Dua alternatif material yang dianalisis adalah volcanic andesite stone dan Flamed andesite stone. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan komparasi perbandingan 2 material dari sisi kecenderungan faktor pemilihan material, analisis biaya LCC dan keselamatan kerja pada saat pemasangan. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan AHP sebagai alat pengambilan keputusan multikriteria, analisis komparasi berbasis LCC dan keselamatan kerja. Hasil analisis AHP menunjukkan bahwa faktor ekonomi merupakan kriteria paling dominan dengan bobot 47,14%. Analisis perbandingan LCC, Volcanic andesite stone memiliki nilai LCC sekitar 75,4% dari Flamed andesite stone, yaitu sebesar Rp 7.384.544.524 dan Rp. 9.790.992.117, meskipun perbandingan nilai konstruksi Volcanic andesite stone lebih besar 1,43x. Dari sisi K3, pemasangan volcanic andesite stone memiliki risiko pemasangan lebih rendah karena karakteristik material yang lebih mudah ditangani.

**Kata Kunci:** Material Konstruksi, Analytical Hierarchy Process (AHP), Manajemen Biaya Konstruksi, Biaya Siklus Hidup, Keselamatan dan Kesehatan Kerja

### Abstract

Construction projects in coastal areas are highly complex due to extreme environmental factors, such as seawater salinity, high humidity, and exposure to ultraviolet radiation. These conditions require the selection of facade materials that not only meet aesthetic requirements but also take into account material durability, life cycle costs, and occupational safety and health (OSH) risks during the installation process. This study was motivated by the need for the client to determine the most optimal facade material alternatives during the planning phase of the Building Project, located in the coastal area of Bali. The two material alternatives analyzed are volcanic andesite stone and Flamed andesite stone. The objective of this study is to compare two materials in terms of material selection criteria, LCC cost analysis, and workplace safety during installation. The research method used a quantitative approach with AHP as a multi-criteria decision-making tool, along with LCC-based comparative analysis and occupational safety considerations. The results of the AHP analysis indicate that the economic factor is the most dominant criterion, with a weight of 47.14%. A comparative LCC analysis shows that volcanic andesite stone has an LCC value of approximately 75.4% of that of flamed andesite stone, amounting to Rp 7,384,544,524 and Rp 9,790,992,117, respectively, even though the construction cost of volcanic andesite stone is 1.43 times higher. From an occupational safety and health perspective, the installation of volcanic andesite stone poses lower installation risks due to the material's easier-to-handle characteristics.

**Keywords:** Construction Material, Analytical Hierarchy Process (AHP), Construction Cost Management, Life Cycle Costs, Occupational Safety and Health

## PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur di kawasan pesisir menghadapi tantangan degradasi material yang signifikan akibat paparan klorida tinggi dan kelembaban ekstrim [1]. Pemilihan material fasad yang tepat menjadi aspek krusial guna menjamin

durabilitas bangunan tanpa mengabaikan efisiensi ekonomi jangka panjang [2]. Secara spesifik, sektor industri perhotelan di wilayah pesisir menuntut standar estetika fasad yang tinggi sekaligus ketahanan struktural yang optimal terhadap iklim laut [3]. Penggunaan batu alam, khususnya varian

Volcanic Andesite Stone dan Flamed Andesite Stone, menjadi solusi arsitektural yang dominan karena karakteristik visualnya yang autentik.

Namun, perbedaan teknik *finishing* permukaan antara tekstur porus pada volcanic finish dan tekstur kasar hasil pembakaran pada Flamed finish menciptakan disparitas signifikan dalam laju akumulasi kotoran serta kebutuhan biaya perawatan rutin (*maintenance cost*). Selain itu, variasi berat jenis dan kekasaran permukaan kedua material tersebut berimplikasi langsung pada tingkat kesulitan instalasi serta risiko ergonomi bagi tenaga kerja di ketinggian, sebagaimana diatur dalam standar SMK (Permen PUPR No. 10/2021) [4]. Ketidakpastian mengenai efisiensi biaya dan tingkat risiko K3 antara kedua variasi *finishing* andesit ini mendasari perlunya pendekatan multidimensi yang mensintesis parameter prioritas teknis melalui Analytical Hierarchy Process (AHP) [5], nilai ekonomi riil via *Life Cycle Cost* (LCC), dan standar keselamatan kerja guna merumuskan rekomendasi pemilihan material yang optimal bagi keberlanjutan investasi hotel di kawasan pesisir.

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan komparasi perbandingan 2 material dari sisi kecenderungan faktor pemilihan material, analisis biaya LCC dan keselamatan kerja pada saat pemasangan. Penelitian ini memiliki urgensi tinggi karena memberikan justifikasi ilmiah bagi industri properti hotel dalam memilih material *finishing* yang paling efisien secara finansial namun tetap aman bagi tenaga kerja. Temuan penelitian ini akan menjembatani celah antara dimensi estetika arsitektural dan perlindungan tenaga kerja, serta memberikan panduan strategis untuk meminimalkan beban biaya perawatan bangunan.

### **Literatur Review**

Pemilihan material fasad di kawasan pesisir memerlukan pendekatan multidimensi guna mengatasi tantangan korosi yang ekstrem [1]. Metode AHP telah terbukti efektif dalam menyusun skala prioritas kriteria yang kompleks dengan mensintesis persepsi pakar ke dalam bobot matematis yang terukur [5]. Selain prioritas teknis, efisiensi ekonomi jangka panjang menjadi parameter krusial yang dievaluasi melalui analisis LCC. Penerapan LCC memungkinkan perbandingan nilai investasi total (*Present Value*) antara alternatif material, mencakup biaya konstruksi hingga pemeliharaan selama masa layan bangunan [6], [7], [8].

Adapun struktur kriteria dan subkriteria AHP disusun berdasarkan studi literatur yang menjadi sumber faktor-faktor umum dan kemudian dielaborasi menjadi faktor-faktor khusus yang menjadi subkriteria. Struktur hierarki kemudian disusun secara sistematis dari tujuan utama, kriteria, hingga subkriteria yang lebih spesifik dan terukur.

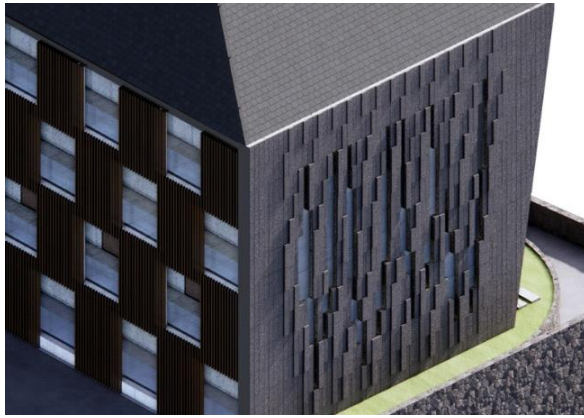
Di sisi lain, aspek keselamatan kerja pada tahap instalasi fasad gedung tinggi merupakan risiko kritis yang sering terabaikan dalam analisis ekonomi murni [9], [10]. Mengacu pada standar nasional terbaru, implementasi Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) berdasarkan Permen PUPR No. 10 Tahun 2021 memberikan kerangka kerja sistematis untuk mengidentifikasi bahaya dan menentukan tingkat risiko melalui parameter frekuensi serta keparahan [3].

Keselamatan dan kesehatan kerja meliputi gagasan dan upaya yang menjamin keselamatan dan keutuhan ketika sedang bekerja [11]. Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) merupakan sistem yang dirancang untuk menjamin keselamatan pekerja, masyarakat, serta lingkungan selama proses pelaksanaan proyek konstruksi. Penerapan SMKK pada proyek pembangunan gedung bertujuan untuk menciptakan lingkungan kerja yang aman serta menekan potensi kecelakaan kerja di sektor konstruksi [12]. Selain itu, implementasi SMKK juga berperan dalam meningkatkan kinerja kontraktor serta mengurangi tingkat kecelakaan kerja selama pelaksanaan proyek konstruksi [13]. Oleh karena itu, penerapan SMKK menjadi salah satu strategi penting dalam meningkatkan budaya keselamatan dan pengendalian risiko pada proyek pembangunan gedung [14].

### **METODOLOGI**

#### ***Pendekatan Penelitian***

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain analisis komparatif untuk mengevaluasi secara objektif performa dua alternatif material fasad, yaitu *Volcanic Andesite Stone* dan *Flamed Andesite Stone*. Fokus utama pendekatan ini adalah menguantifikasi variabel-variabel kompleks ke dalam data numerik yang terukur melalui tiga instrumen analisis utama. Berikut adalah gambar area dinding eksterior bangunan (ukuran 18x30) meter yang akan dipasang dengan Volcanic atau Andesite Stone.



**Gambar 1.** Area Dinding Lokasi Pemasangan Material *Finishing*

Analisis komparatif dilakukan dengan mensintesis bobot kepentingan kriteria melalui AHP, estimasi moneter jangka panjang menggunakan LCC, serta kuantifikasi tingkat bahaya berdasarkan matriks risiko SMKK Permen PUPR No. 10/2021. Melalui integrasi data kuantitatif ini, penelitian diharapkan akan menghasilkan perbandingan performa yang presisi antara kedua material tersebut, sehingga keputusan pemilihan material didasarkan pada parameter yang valid, reliabel, dan bebas dari bias subjektif.

#### **Prosedur Pelaksanaan Penelitian**

Prosedur pelaksanaan penelitian ini terintegrasi dalam tiga tahapan analisis utama untuk merumuskan pemilihan material fasad pesisir yang optimal. Tahap awal penelitian menggunakan metode AHP untuk menyusun prioritas kriteria berdasarkan persepsi pakar. Selanjutnya, dilakukan analisis LCC guna mengkuantifikasi nilai efisiensi ekonomi jangka panjang dari alternatif material. Tahap akhir melibatkan analisis risiko keselamatan kerja untuk mengevaluasi potensi bahaya selama proses instalasi, sehingga keputusan yang dihasilkan bersifat komprehensif, kredibel, dan juga mempertimbangkan aspek teknis, finansial, serta keselamatan kerja.

#### **Data Penelitian**

Data primer diperoleh melalui instrumen kuesioner mencakup dua aspek utama: (a) persepsi responden terhadap tingkat kepentingan relatif kriteria pemilihan material untuk analisis AHP, dan (b) hasil validasi serta pengecekan data pada tabel Identifikasi Bahaya, Penilaian Risiko, dan Peluang (IBPRP) yang telah disusun dan diverifikasi oleh pakar K3. Hal ini bertujuan untuk memperoleh data yang kontekstual dan berbasis keahlian praktis di lapangan. Selanjutnya komponen data sekunder meliputi: (a) identifikasi awal kriteria pemilihan

material sebagai basis struktur hierarki AHP, (b) data pengendalian risiko yang bersumber dari referensi keselamatan konstruksi global dan lokal, serta (c) panduan teknis analisis risiko yang mengacu pada Peraturan Menteri PUPR Nomor 10 Tahun 2021 tentang Pedoman SMKK. Integrasi data sekunder ini memastikan bahwa metodologi penilaian risiko yang digunakan telah selaras dengan standar regulasi yang berlaku di Indonesia.

#### **Responden Penelitian**

Pemilihan responden dalam pengisian kuesioner AHP dilakukan melalui teknik *purposive sampling*, di mana responden dipilih secara sengaja berdasarkan kriteria kompetensi dan pengalaman spesifik yang relevan dengan tujuan penelitian [15]; [16]. Responden dalam penelitian ini terdiri atas responden kuesioner AHP yang melibatkan 9 orang dari tim proyek dengan kualifikasi pendidikan minimal S1 dan dengan pengalaman kerja selama 10 tahun sebagai middle hingga top manajemen dalam pengelolaan proyek konstruksi. Dalam metode AHP, kualitas penilaian responden diukur melalui *Consistency Ratio* (CR), dimana nilai  $CR < 0,1$  menunjukkan tingkat konsistensi yang dapat diterima [17] [18]. Oleh karena itu uji validitas dan reliabilitas konvensional tidak diperlukan [19]. Sementara Ara dkk (2025) [16] menyatakan bahwa kemampuan AHP dalam memberikan batas nilai CR tersebut justru menambah tingkat reliabilitas.

Dan responden untuk kebutuhan validasi pakar analisis risiko keselamatan kerja oleh 1 orang pakar K3 konstruksi bersertifikat dengan pengalaman minimal 15 tahun guna menjamin kredibilitas serta akurasi data hasil analisis penelitian pemilihan material.

#### **Tahapan Analisis AHP**

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode AHP untuk mensintesis penilaian responden melalui mekanisme perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*). Instrumen penelitian berupa kuesioner terstruktur didistribusikan kepada responden ahli guna mengevaluasi tingkat kepentingan relatif antar kriteria berdasarkan skala fundamental Saaty (1–9) [20] [21].

Data primer yang terkumpul kemudian ditransformasikan ke dalam matriks perbandingan berpasangan untuk mengalkulasi nilai *eigenvector* yang merepresentasikan bobot prioritas masing-masing kriteria [17]. Berikut adalah matriks

berpasangan yang harus dibuat untuk kemudian dianalisis nilai eigen.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Setelah dibuat matriks berpasangan, tahap selanjutnya adalah membuat matriks nilai kriteria.

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$b_{nn} = a_{nn} / (\sum_n^1 a_{nn}) \quad (3)$$

Tahap selanjutnya menghitung nilai eigen value ( $\lambda$ ) untuk setiap kriteria, bobot nilai prioritas, dan bobot nilai kriteria.

$$\text{Bobot Nilai Prioritas} = \lambda_a / \sum_n^a \lambda \quad (4)$$

$$\text{Nilai Kriteria} = \sum_n^1 b_{nn} \quad (5)$$

Selanjutnya menghitung perbandingan Nilai Kriteria dan Bobot Nilai Prioritas (X) untuk setiap kriteria.

$$X = \text{Nilai Kriteria} / \text{Bobot Prioritas} \quad (6)$$

Guna menjamin validitas dan reliabilitas hasil pembobotan, proses agregasi data menggunakan rata-rata geometrik (*geometric mean*) hanya dilakukan terhadap penilaian responden yang memenuhi syarat konsistensi logis dengan nilai *Consistency Rasio* di bawah 0,1 ( $CR < 0,1$ ) pada setiap level hierarki.

$$\lambda \text{ maks} = \Sigma (X) / n \quad (7)$$

$$CI = (\lambda \text{ maks} - n) / (n - 1,0) \quad (8)$$

$$CR = (CI) / (RI) \quad (9)$$

RI adalah indeks acak yang bergantung pada ukuran matriks, dan merupakan nilai CI rata-rata dari sejumlah besar relasi preferensi multiplikatif yang dihasilkan secara acak [22].

**Tabel 1.** Nilai RI sesuai Jumlah Variabel

	1	2	3	4	5
R.I.	0	0	0.52	0.89	1.12
$\lambda$ Tmax	0	0	3.116	4.267	5.448
er	0	0	3.87%	6.68%	8.96%

Sumber: Liu dkk, 2017 [22]

Penilaian yang teridentifikasi tidak konsisten (TK) pada level tertentu tidak diikutsertakan dalam kalkulasi bobot prioritas akhir. Langkah ini diambil untuk menghindari distorsi data serta memastikan bahwa hasil keputusan yang dihasilkan bersifat logis, kredibel, dan representatif terhadap pakar di bidangnya.

### Tahapan Analisis LCC

Analisis ini iimplementasikan untuk mengevaluasi totalitas biaya investasi material fasad selama masa layan bangunan. Komponen biaya yang dihitung mencakup biaya konstruksi awal, biaya perawatan dan pemeliharaan berkala, serta biaya pembongkaran pada akhir umur teknis. Perhitungan ini bertujuan untuk menentukan alternatif material yang paling efisien secara ekonomi jangka panjang. Seluruh komponen biaya akan dianalisis dengan bantuan beberapa faktor bunga seperti *Single Payment Present Worth Factor* (P/F,i,n) mengidentifikasi nilai saat ini jika diketahui nilai di masa depan; *Present Worth of Annuity Factor* (P/A,i,n) mengidentifikasi nilai saat ini jika diketahui nilai yang dikeluarkan atau diperoleh (pendapatan ataupun pengeluaran) secara rutin setiap tahun di masa depan. Dengan i adalah *interest* yang menggunakan suku bunga yang berlaku saat ini. Sedangkan n adalah usia jangka waktu investasi yang dalam konteks penelitian ini adalah usia konstruksi. Nilai usia konstruksi menggunakan acuan Nilai Usia Manfaat dalam UU No. 36 Tahun 2008 tentang Perubahan Keempat atas UU No. 7 Tahun 1983 tentang Pajak Penghasilan [23], yaitu Kelompok harta berwujud Bangunan Permanen (20 tahun). Nilai dalam tabel bunga berasal dari analisis pemajemukan diskrit. Berikut adalah formulasi nilai *Present Value* (PV) yang akan digunakan.

$$PV = (P_1 \times \text{Faktor Bunga}) \pm (P_2 \times \text{Faktor Bunga}) \pm \dots \pm (P_n \times \text{Faktor Bunga}) \quad (10)$$

### Tahapan Analisis Risiko Keselamatan Kerja

Tahapan analisis risiko dalam penelitian ini mengacu pada Permen PUPR No. 10 Tahun 2021 tentang Pedoman SMK, yang mencakup proses identifikasi bahaya, penilaian tingkat risiko berdasarkan parameter frekuensi dan keparahan, serta perumusan tindakan pengendalian untuk menjamin standar keselamatan konstruksi

### Validasi Pakar Analisis Risiko Keselamatan Kerja

Guna menjamin validitas dan reliabilitas hasil, 1 orang pakar K3 konstruksi dilibatkan sebagai validator utama untuk mengevaluasi dan

memberikan justifikasi terhadap hasil analisis risiko yang telah dilakukan. Peran strategis pakar mencakup verifikasi terhadap ketepatan skoring parameter serta konfirmasi bahwa kategori risiko yang dihasilkan telah merepresentasikan kondisi riil di lapangan secara akurat. Hasil validasi pakar ini berfungsi sebagai parameter komparatif yang objektif untuk mengevaluasi dimensi keselamatan kerja di antara alternatif material fasad. Dengan demikian, integrasi antara aspek ekonomi (Biaya Siklus Hidup) dan standar keselamatan kerja dalam pengambilan keputusan dapat tercapai secara komprehensif dan kredibel

## HASIL DAN DISKUSI

Bagian ini terdiri atas tiga bagian utama yaitu: (1) Analisis AHP, (2) Analisis LCC dan (3) Analisis Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3).

### Analisis AHP

Proses Analisis AHP dalam penelitian ini diawali dengan dekomposisi kriteria pemilihan material ke dalam struktur hierarki dua level yang sistematis. Hapriani dan Sapitri (2024) [24] menyatakan bahwa, industri konstruksi dalam pelaksanaannya senantiasa melibatkan berbagai faktor baik internal maupun eksternal seperti *man, material, machine, technology, money, evironment*, dan lainnya. Oleh karena itu faktor pemilihan material harus merepresentasikan kriteria yang melibatkan faktor-faktor tersebut. Level pertama merepresentasikan kriteria utama yang mencakup dimensi ekonomi, lingkungan, dan sosial kemasyarakatan [25]. Guna memberikan rincian penilaian yang lebih mendalam, setiap kriteria utama didekomposisi lebih lanjut pada level kedua menjadi lima sub-kriteria spesifik. Model hierarki keputusan ini menjadi landasan dalam penyusunan instrumen kuesioner perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*), yang dirancang untuk menangkap preferensi serta prioritas pakar terhadap variabel pemilihan material fasad.

**Tabel 2.** Kriteria dan Sub Kriteria

No	Level 1 Kriteria	No	Level 2 Sub Kriteria
A	Faktor-faktor yang berhubungan dengan kondisi ekonomi	A1	Biaya awal
		A2	Biaya Perawatan
		A3	Biaya Pembuangan
		A4	Pendapatan
		A5	Kontribusi pajak
B	Faktor-faktor yang berhubungan dengan kondisi lingkungan	B1	Penghematan energi
		B2	Potensi daur ulang
		B3	Ekstraksi bahan baku
		B4	Pengelolaan Limbah
		B5	Konsumsi bahan bakar

No	Level 1 Kriteria	No	Level 2 Sub Kriteria
C	Faktor-faktor yang berhubungan dengan kondisi sosial	C1	Ketahanan terhadap pembusukan
		C2	Kemudahan dalam konstruksi
		C3	Masa pakai operasional
		C4	Estetika
		C5	Penggunaan material lokal

Sumber: Govinda dkk, 2016 [25]

Berikut contoh analisis penilaian AHP pada salah satu responden yang mengisi kuesioner.

**Tabel 3.** Penyusunan Matriks Berpasangan

Kriteria	A	B	C	Perkalian Antar Baris
A	1,0000	5,0000	7,0000	35,000
B	0,2000	1,0000	1,0000	0,2000
C	0,1429	1,0000	1,0000	0,1429
	1,3429	7,0000	9,0000	

**Tabel 4.** Analisis Nilai Eigen dan Bobot Prioritas

Kriteria	Nilai Eigen	Bobot Prioritas
A	3,2710	74,71%
B	0,5848	13,36%
C	0,5227	11,94%
	4,378	100%

**Tabel 5.** Penyusunan Matriks Nilai Kriteria

Kriteria	A	B	C	Nilai Kriteria
A	0,7447	0,7143	0,7778	2,2367
B	0,1489	0,1429	0,1111	0,4029
C	0,1064	0,1429	0,1111	0,3604

**Tabel 6.** Penilaian Nilai Kriteria per Bobot Prioritas

Kriteria	Bobot Prioritas	Nilai Sintesa	(X)
A	74,71%	2,2367	2,99409
B	13,36%	0,4029	3,01668
C	11,94%	0,3604	3,01837
	100%		<b>9,02905</b>

Berikut adalah analisis analisis nilai eigen maksimum dari vektor penjumlahan tertimbang, nilai CI, dan nilai CR.

$$\lambda_{\text{maks}} = \frac{\sum(X)}{n} = \frac{9,02905}{3} = 3,00969$$

$$\begin{aligned} CI &= \frac{(\lambda_{\text{maks}} - n)}{(n - 1,0)} \\ &= \frac{(3,00969 - 3)}{(3 - 1,0)} \\ &= 0,00484 \end{aligned}$$

$$CR = \frac{(CI)}{(RI)} = \frac{(0,00484)}{(0,52)} = 0,08357$$

Konsisten (K) jika nilai CR < 0,1 dan Tidak Konsisten (TK) jika nilai CR > 0,1. Hasil penilaian

konsistensi rasio pada 9 responden yang mengisi

kuesioner dapat dilihat pada tabel 7 berikut.

**Tabel 7.** Penilaian Konsistensi Rasio untuk 9 Responden

No	Nama	Usia	Pendidikan	Jabatan	Level-1	Level-2A	Level-2B	Level-2C
1	Responden 1	44	S1	Project Manajer	K	K	K	TK
2	Responden 2	40	S1	Arsitek	TK	K	TK	K
3	Responden 3	42	S1	Arsitek	TK	TK	K	K
4	Responden 4	51	S1	MEP Engineer	K	K	K	K
5	Responden 5	39	S1	Engineer	K	K	K	TK
6	Responden 6	38	S1	Project Manajer	K	K	K	K
7	Responden 7	50	S3	Akademisi	K	K	K	TK
8	Responden 8	40	S1	Project Manajer	K	K	K	K
9	Responden 9	44	S2	Quantity Surveyor	K	K	K	K
Total K					7	8	8	6

Tabel 7 tersebut merangkum profil sembilan responden ahli serta hasil pengujian konsistensi rasio pada setiap level hierarki. Mayoritas responden menunjukkan tingkat konsistensi yang valid (nilai 1,00), meskipun terdapat beberapa data penilaian yang teridentifikasi tidak konsisten (TK). Data konsisten tersebut selanjutnya digunakan sebagai basis agregat dalam penentuan bobot prioritas akhir.

**Peringkat Kriteria**

Tabel berikut menjelaskan hasil penilaian bobot yang sudah disusun berdasarkan urutan pemeringkatan.

**Tabel 8.** Peringkat untuk Level 1

No	Kriteria	Bobot (%)	Peringkat
A	Faktor Ekonomi	47,14%	1
B	Faktor Sosial	29,59%	2
C	Faktor Lingkungan	23,27%	3

**Tabel 9.** Peringkat untuk Level 2

No	Kriterial Level 2A	Bobot (%)	Peringkat
1	Biaya awal	28,99%	1
2	Biaya Perawatan	27,47%	2
3	Pendapatan	19,02%	3
4	Kontribusi Pajak	12,76%	4
5	Biaya Pembuangan	11,76%	5
Total		100%	
No	Kriterial Level 2B	Bobot (%)	Peringkat
1	Potensi Daur Ulang	27,20%	1
2	Penghematan Energi	27,17%	2
3	Pengelolaan Limbah	18,36%	3
4	Konsumsi Bahan Bakar	13,71%	4
5	Ekstraksi Bahan Baku	13,55%	5
Total		100%	
No	Kriterial Level 2C	Bobot (%)	Peringkat
1	Ketahanan terhadap Pembusukan	25,18%	1
2	Masa Pakai Operasional	24,04%	2
3	Estetika	23,24%	3

4	Penggunaan Material Lokal	18,97%	4
5	Kemudahan dalam Konstruksi	8,57%	5
Total		100%	

Berdasarkan hasil analisis pembobotan hierarki, kriteria ekonomi teridentifikasi sebagai dimensi paling determinan dalam pemilihan material fasad pesisir dengan bobot prioritas sebesar 47,14%. Dalam lingkup kriteria ini, variabel biaya awal (28,99%) dan biaya perawatan (27,47%) muncul sebagai faktor utama yang mempengaruhi keputusan investasi, disusul oleh potensi pendapatan (19,02%). Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi finansial jangka panjang tetap menjadi pertimbangan krusial bagi praktisi di wilayah pesisir.

Pada dimensi lingkungan, fokus utama pakar tertuju pada aspek keberlanjutan, yang direpresentasikan oleh tingginya bobot potensi daur ulang dan penggunaan kembali (27,20%) serta penghematan energi (27,17%). Sementara itu, pada kriteria sosial kemasyarakatan, aspek teknis berupa ketahanan terhadap pembusukan (25,18%) dan masa pakai operasional (24,04%) dinilai lebih signifikan dibandingkan unsur estetika (23,24%). Temuan ini mengindikasikan bahwa fungsionalitas dan durabilitas material di lingkungan korosif merupakan prioritas utama yang melampaui pertimbangan visual semata.

**Analisis LCC**

Hasil analisis pembobotan kriteria menggunakan metode AHP telah mengonfirmasi bahwa dimensi ekonomi merupakan variabel paling dominan dalam pemilihan material fasad di kawasan pesisir. Guna memberikan justifikasi numerik yang lebih mendalam terhadap prioritas tersebut, diperlukan evaluasi ekonomi komprehensif melalui analisis LCC. Analisis ini dilakukan untuk membandingkan totalitas biaya investasi antara alternatif material, mulai dari tahap konstruksi awal

hingga biaya perawatan dan pemeliharaan selama masa layan bangunan. Integrasi antara bobot prioritas AHP dan perhitungan biaya riil LCC akan menghasilkan rekomendasi pemilihan material yang tidak hanya didasarkan pada preferensi pakar, tetapi juga pada efisiensi finansial jangka panjang

### **Biaya Konstruksi**

Biaya konstruksi dalam penelitian ini adalah biaya pekerjaan *finishing* untuk ke dua jenis material.

**Tabel 10.** Total Biaya Pekerjaan *Finishing* Volcanic Andesit Stone

No	Uraian Pekerjaan	Total Biaya (Rp.)
A Pekerjaan Struktur Pendukung <i>Finishing</i>		
1	Baja WF 150.75	179.443.368
2	Baja Siku 100.100.7	228.321.569
B Pekerjaan <i>Finishing</i> Façade		
1	Stone thick 240 mm	422.343.652
2	Stone thick 160 mm	627.864.350
3	Stone thick 80 mm	1.474.068.577
4	Calsiboard Partition Weathershield Paint Finish	8.768.963
Total		<b>2.940.810.481</b>

**Tabel 11.** Total Biaya Pekerjaan *Finishing* Flamed Andesit Stone

No	Uraian Pekerjaan	Total Biaya (Rp.)
A Pekerjaan Struktur Pendukung <i>Finishing</i>		
1	Baja WF 150.75	179.443.368
2	Baja Siku 100.100.7	228.321.569
B Pekerjaan <i>Finishing</i> Façade		
1	Stone thick 240 mm	338.902.987
2	Stone thick 160 mm	379.026.200
3	Stone thick 80 mm	918.238.279
4	Calsiboard Partition Weathershield Paint Finish	8.768.963
Total		<b>2.052.701.367</b>

### **Biaya Perawatan dan Pemeliharaan**

Damanik dkk (2024) [26], menyatakan bahwa biaya perawatan diambil dari *Gross Floor Area* (GFA) dikali dengan biaya perawatan tiap daerah. Menurut Peraturan Walikota Denpasar No. 22 tahun 2025 tentang Standar Harga Jasa Tahun Anggaran 2026 [27] pada bagian harga perawatan bangunan bertingkat harga perawatan bangunan senilai Rp. 200.000/ m<sup>2</sup> per tahun, sehingga dapat dijabarkan perhitungan biaya perawatan sebagai berikut. Luas Area 530,16 m<sup>2</sup> dikalikan Rp. 200.000/ m<sup>2</sup> menjadi Rp. 106.031.400/ tahun. Selanjutnya menurut penelitian Sustainability Study untuk penilaian LCC khusus untuk fasad natural stone dan kaca [28] diperoleh asumsi tambahan biaya pembersihan rutin dan biaya sealing sebesar 2 Dollar per ft<sup>2</sup> dan

1,5 Dollar per ft<sup>2</sup>. Perbedaan untuk ke dua material ada pada frekuensi pekerjaan, dimana pada Volcanic Andesite Stone frekuensi pekerjaan pembersihan rutin dan sealing adalah sama, 1x per tahun. Sedangkan untuk Flamed Andesite Stone sebanyak 2x per tahun untuk 2 jenis pekerjaan tersebut. Perbedaan frekuensi disebabkan oleh karakteristik permukaan flamed yang lebih kasar sehingga lebih mudah menangkap kotoran, debu, dan garam pada lingkungan pesisir. Selain itu, kebutuhan sealing pada flamed andesite juga cenderung lebih sering karena porositas permukaan yang lebih terbuka.

Adapun kurs nilai tukar Dollar terhadap IDR yang digunakan adalah Rp. 16,700 per Dollar (Januari 2026).

### **Biaya Pembongkaran**

Menurut Dinnie (2024) [29], biaya pembongkaran diambil dari 10% total investasi. Oleh karena itu, biaya pembongkaran material Volcanic Andesite Stone sebesar 10% dari total biaya Persiapan dan biaya pekerjaan *finishing*, yaitu 10 % x Rp. 3.437.814.860 yaitu sebesar Rp. 343.781.486. sementara untuk Flamed Andesite Stone sebesar Rp. 254.846.734.

### **Perbandingan Nilai PV**

Untuk analisis PV selama periode 20 tahun, digunakan asumsi suku bunga sebesar 7,84%. Angka tersebut merupakan nilai terendah suku bunga pinjaman kredit korporasi non KPR dari semua bank di Indonesia pada tahun 2025 [30]. Seluruh nilai biaya perawatan dan pemeliharaan kemudian dikonversi menggunakan metode *Present Value* (PV) untuk memastikan kesetaraan nilai ekonomi. Selanjutnya, total P adalah penjumlahan dari nilai PV untuk Biaya Perawatan dan Pemeliharaan (P<sub>1</sub>) selama 20 tahun ditambah Biaya Pembongkaran (P<sub>2</sub>) di tahun ke 20 dan Biaya Konstruksi (P<sub>3</sub>) saat ini.

$$P = (P_1 (P/A, i, n)) + (P_2 (P/F, i, n)) + (P_3)$$

Analisis *Present Value* ke dua material untuk n 20 tahun dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 12.** Perbandingan Biaya LCC dalam Rp.

Komponen Biaya	Volcanic Andesite Stone	Flamed Andesite Stone
Biaya Perawatan dan Pemeliharaan	106.031.400	106.031.400
Biaya Pekerjaan Cleaning	190.600.347	381.200.693
Biaya Pekerjaan Sealing	142.950.260	285.900.520

Komponen Biaya	Volcanic Andesite Stone	Flamed Andesite Stone
Faktor Bunga (P/A)	9,9361587	9,9361587
P <sub>1</sub>	<b>4.367.756.560</b>	<b>7.681.968.307</b>
Biaya Pembongkaran	343.781.486	254.846.735
Faktor Bunga (P/F)	0,221005	0,221005
P <sub>2</sub>	<b>75.977.483</b>	<b>56.322.444</b>
Biaya Konstruksi P <sub>3</sub>	<b>2.940.810.481</b>	<b>2.052.701.367</b>
Total P	<b>7.384.544.524</b>	<b>9.790.992.117</b>

Hasil menunjukkan, meskipun biaya konstruksi Volcanic Andesite Stone 1,43x lebih besar dari pada Flamed Andesite Stone, namun hasil analisis LCC selama 20 tahun menunjukkan perbedaan nilai LCC hanya sebesar 0,75x, sementara perbandingan nilai biaya perawatan dan pemeliharaan hanya 0,56x. Hal ini menunjukkan bahwa komponen biaya perawatan dan pemeliharaan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap total biaya siklus hidup.

**Analisis Sensitivitas**

Untuk melihat fenomena pengaruh perubahan suku bunga terhadap seluruh analisis LCC, maka digunakan analisis sensitivitas dengan memberikan variasi interest sebesar ±0,5% dari nilai dasar 7,84% sehingga diperoleh rentang sebagaimana dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 13.** Analisis Sensitivitas dalam Rp.

i (%)	Volcanic Andesite Stone	Flamed Andesite Stone	Gap (%)
6,84	7.747.765.275	10.413.987.934	25,6
7,34	7.560.557.756	10.093.032.737	25,0
<b>7,84</b>	<b>7.384.544.524</b>	<b>9.790.992.117</b>	<b>24,5</b>

**Tabel 14.** Analisis Risiko Pekerjaan Persiapan *Finishing* Volcanic Andesit

No	Uraian Pekerjaan	Identifikasi Bahaya	Risiko	Persyaratan Acuan	F	A	F x A	Tingkat Risiko Awal	Pengendalian Risiko Awal
1	Mobilisasi dan Penataan Area Kerja	Pekerja berjalan di area kerja tanpa pengaturan jalur yang jelas	Pekerja tersandung atau terpeleset yang dapat menyebabkan luka ringan hingga cedera.	<ul style="list-style-type: none"> <li>UU No. 1 Tahun 1970</li> <li>UU No. 11 Tahun 2021</li> <li>UU No. 2 Tahun 2017</li> <li>Permen SMK PU RI No. 32 Tahun 2009</li> <li>ISO 45001: 2018</li> </ul>	2	2	4	Resiko Kecil	Menyediakan jalur khusus pekerja yang jelas dan bebas hambatan ( <b>Rekayasa Teknik</b> ) Memasang rambu keselamatan dan pembatas area kerja ( <b>Administratif</b> ) Pekerja menggunakan APD dasar (helm, sepatu keselamatan) ( <b>APD</b> )
2	Mobilisasi dan peralatan	Material dan peralatan	Pekerja tertimpa material	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISO 14000</li> </ul>	3	3	9	Resiko Sedang	Material dan peralatan disusun rapi sesuai zona kerja. ( <b>Rekayasa Teknik</b> )

i (%)	Volcanic Andesite Stone	Flamed Andesite Stone	Gap (%)
8,34	7.218.908.393	9.506.504.033	24,0
8,84	7.062.899.654	9.238.317.502	23,5

Hasil menunjukkan bahwa pada seluruh variasi interest, nilai LCC material Flamed Andesite Stone tetap lebih rendah dibandingkan Volcanic Andesite Stone dengan selisih biaya (gap) terhadap parameter biaya terbesar berada pada kisaran relatif stabil, yaitu 23-25% atau sekitar Rp. 2,1 s/d 2,6 miliar. Hal ini mengindikasikan bahwa keputusan pemilihan material tidak sensitif terhadap perubahan suku bunga.

**Analisa Risiko Keselamatan Kerja (K3)**

Meskipun analisis LCC memberikan gambaran komprehensif mengenai efisiensi finansial jangka panjang, pengambilan keputusan dalam pemilihan material konstruksi tidak dapat hanya didasarkan pada parameter ekonomi semata. Implementasi fisik di lapangan, khususnya pada pekerjaan fasad gedung di kawasan pesisir, memiliki kompleksitas teknis serta potensi bahaya yang signifikan bagi tenaga kerja akibat faktor ketinggian dan cuaca ekstrem. Oleh karena itu, guna menjamin keberlanjutan proyek dari aspek perlindungan manusia, penelitian ini dilanjutkan dengan analisis risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Integrasi antara nilai ekonomi dan tingkat risiko keselamatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa alternatif material yang terpilih tidak hanya efisien secara biaya, tetapi juga memenuhi standar keamanan yang ketat selama proses instalasi dan masa layannya. Seluruh analisis mulai dari penyusunan tabel IBPRP, matriks penilai kekerapan dan keparahan mengacu pada Permen PUPR No. 10 tahun 2021. Berikut disajikan contoh analisis risiko pada pekerjaan persiapan untuk Volcanic Andesit.

No	Uraian Pekerjaan	Identifikasi Bahaya	Risiko	Persyaratan Acuan	F	A	F x A	Tingkat Risiko Awal	Pengendalian Risiko Awal
	Penataan Area Kerja	kerja belum tertata rapi di area fasad.	atau peralatan yang tidak tertata dengan baik.						Memberikan jarak aman antar material untuk mencegah runtuhnya <b>(Rekayasa Teknik)</b> Melakukan pembersihan rutin di area fasad <b>(Administrasi)</b>
3	Mobilisasi dan Penataan Area Kerja	Aktivitas pemasangan perancah dilakukan di area dengan ruang gerak terbatas.	Risiko jatuh dari ketinggian saat pemasangan perancah.		3	4	12	Resiko Sedang	Menggunakan perancah standar yang sesuai dengan kondisi lokasi <b>(Rekayasa Teknik)</b> Perancah dipasang oleh tenaga yang kompeten <b>(Administratif)</b> . Pekerja menggunakan full body harness saat pemasangan <b>(APD)</b>

Dan tabel-tabel berikut memperlihatkan keseluruhan hasil analisis risiko awal baik untuk material Volcanic Andesit maupun Flamed Andesit.

**Tabel 15.** Analisis Risiko Pekerjaan *Finishing* Volcanic Andesit

No	Tahapan Pekerjaan	Bahaya Utama	Risiko	Tingkat Risiko Awal	Pengendalian Risiko Awal
1	Mobilisasi dan penataan area kerja	Area kerja tidak tertata	Pekerja tersandung atau tertabrak material	Rendah	Pengaturan jalur kerja, pemasangan rambu keselamatan, dan housekeeping area kerja
2	Penataan material	Material tidak tersusun rapi	Material jatuh menimpa pekerja	Sedang	Penataan material sesuai zona kerja dan pembatasan area penyimpanan
3	Pemasangan perancah	Pekerjaan di ketinggian	Pekerja jatuh dari perancah	Sedang	Inspeksi perancah, pemasangan guardrail, dan penggunaan full body harness
4	Pengukuran dan penandaan fasad	Perbedaan elevasi kerja	Pekerja kehilangan keseimbangan	Sedang	Penggunaan APD lengkap dan pemeriksaan stabilitas platform kerja
5	Pemasangan rangka baja	Pengangkatan material berat	Cedera otot atau tertimpa material	Sedang	Penggunaan alat bantu angkat dan pelatihan teknik manual handling
6	Pemasangan rangka fasad	Pekerjaan pada elevasi	Pekerja jatuh dari ketinggian	Sedang	Sistem proteksi jatuh, penggunaan harness, dan pengawasan K3
7	Pengelasan rangka	Percikan api las	Luka bakar atau kebakaran	Sedang	Penggunaan APD pengelasan dan penyediaan alat pemadam kebakaran
8	Pengelasan di ruang terbatas	Paparan asap las	Gangguan pernapasan	Sedang	Ventilasi kerja yang memadai dan penggunaan masker respirator
9	Pengangkatan batu andesit	Beban material berat	Cedera akibat pengangkatan manual	Sedang	Penggunaan alat bantu angkat dan pembagian beban kerja
10	Pemindahan batu di ketinggian	Material jatuh	Pekerja tertimpa batu	Tinggi	Pemasangan safety net dan pembatasan area kerja di bawahnya
11	Pemasangan batu pada struktur	Bekerja di ketinggian	Pekerja jatuh saat pemasangan	Tinggi	Penggunaan scaffolding yang stabil dan APD lengkap
12	<i>Finishing</i> pemasangan batu	Tepi batu tajam	Luka pada tangan	Rendah	Penggunaan sarung tangan kerja dan pengaturan posisi kerja

**Tabel 16.** Analisis Risiko Pekerjaan *Finishing* Flamed Andesit

No	Tahapan Pekerjaan	Bahaya Utama	Risiko	Tingkat Risiko Awal	Pengendalian Risiko Awal
1	Mobilisasi dan penataan area kerja	Area kerja tidak tertata	Pekerja tersandung atau terbentur material	Rendah	Pengaturan jalur kerja, pemasangan rambu keselamatan, dan housekeeping area kerja
2	Penataan material	Material tidak tersusun rapi	Material jatuh menimpa pekerja	Sedang	Penataan material sesuai zona kerja dan pembatasan area penyimpanan
3	Pemasangan perancah	Pekerjaan di ketinggian	Pekerja jatuh dari perancah	Sedang	Inspeksi perancah, pemasangan guardrail, dan penggunaan full body harness
4	Pengukuran dan penandaan fasad	Perbedaan elevasi kerja	Pekerja kehilangan keseimbangan	Sedang	Penggunaan APD lengkap dan pemeriksaan stabilitas platform kerja
5	Pemasangan rangka baja	Pengangkatan material berat	Cedera akibat pengangkatan manual	Sedang	Penggunaan alat bantu angkat dan pelatihan manual handling
6	Pemasangan rangka fasad	Pekerjaan pada elevasi	Pekerja jatuh dari ketinggian	Sedang	Sistem proteksi jatuh, penggunaan harness, dan pengawasan K3
7	Pengelasan rangka	Percikan api las	Luka bakar atau kebakaran	Sedang	Penggunaan APD pengelasan dan penyediaan alat pemadam kebakaran
8	Pengelasan di ruang terbatas	Paparan asap las	Gangguan pernapasan	Sedang	Ventilasi kerja yang memadai dan penggunaan masker respirator
9	Pengangkatan batu andesit	Beban material berat	Cedera otot atau kelelahan	Sedang	Penggunaan alat bantu angkat dan pembagian beban kerja
10	Pemindahan batu di ketinggian	Material jatuh	Pekerja tertimpa batu	Tinggi	Pemasangan safety net dan pembatasan area kerja di bawahnya
11	Pemasangan batu pada struktur	Pekerjaan di ketinggian	Pekerja jatuh saat pemasangan	Tinggi	Penggunaan scaffolding stabil dan APD lengkap
12	<i>Finishing</i> pemasangan batu	Permukaan batu kasar dan tajam	Luka pada tangan	Sedang	Penggunaan sarung tangan kerja dan pengaturan posisi kerja

Perbedaan signifikan dalam analisis risiko ke dua jenis material dengan metode pelaksanaan yang sama. Kedua material memiliki metode pelaksanaan pekerjaan yang sama, namun terdapat beberapa perbedaan dari sisi cara penanganan material *finishing*. Jenis *finishing* batu andesit yang digunakan. Pada *finishing* Flamed Andesite, permukaan batu dibuat dengan proses flaming (pemanasan) sehingga teksturnya lebih kasar. Hal ini menyebabkan risiko lebih banyak terkait tepi batu yang tajam dan permukaan kasar saat pemasangan.

Sedangkan pada *finishing* Volcanic Andesite, biasanya memiliki tekstur yang lebih alami atau hasil pemotongan. Sehingga risiko lebih dominan pada berat material dan proses pemindahan batu. Namun dari sisi K3 konstruksi, sebagian besar potensi bahaya tetap sama karena proses pemasangannya mirip. Perbedaan Potensi Bahaya Spesifik. Pada tabel Flamed Andesite terdapat beberapa bahaya yang lebih menonjol: Contoh pada bagian pekerjaan instalasi: Tepi batu andesit yang keras dan tajam

yang dapat menyebabkan luka pada tangan. Bahaya tersebut berisiko terjadi saat penanganan material dengan permukaan kasar. Sedangkan pada tabel Volcanic Andesite risiko lebih menekankan pada: material jatuh, beban material berat dan pekerjaan pada ketinggian.

Tahap selanjutnya adalah analisis perubahan tingkat risiko setelah dilakukan pengendalian risiko. Tabel berikut memperlihatkan hasilnya.

**Tabel 17.** Analisis Tingkat Risiko Akhir untuk Volcanic Andesit

No	Uraian Pekerjaan	Risiko Awal	Risiko Akhir
1	Pemasangan rangka baja	Risiko Sedang	Risiko Rendah
2	Pengelasan rangka	Risiko Sedang	Risiko Rendah
3	Pengelasan di ruang terbatas	Risiko Sedang	Risiko Rendah
4	Pengangkatan batu andesit	Risiko Sedang	Risiko Rendah
5	Pemindahan batu di ketinggian	Risiko Tinggi	Risiko Sedang

No	Uraian Pekerjaan	Risiko Awal	Risiko Akhir
6	Pemasangan batu pada struktur	Risiko Tinggi	Risiko Sedang

**Tabel 18.** Analisis Tingkat Risiko Akhir untuk Flamed Andesit

No	Uraian Pekerjaan	Risiko Awal	Risiko Akhir
1	Pemasangan rangka baja	Risiko Sedang	Risiko Kecil
2	Pengelasan rangka	Risiko Sedang	Risiko Kecil
3	Pengelasan di ruang terbatas	Risiko Sedang	Risiko Kecil
4	Pengangkatan batu andesit	Risiko Sedang	Risiko Kecil
4	Pemindahan batu di ketinggian	Risiko Tinggi	Risiko Sedang
5	Pemasangan batu pada struktur	Risiko Tinggi	Risiko Sedang
6	<i>Finishing</i> pemasangan batu	Risiko Sedang	Risiko Kecil

### **Validasi Pakar Risiko**

Setelah analisis IBPRP, dilakukan klarifikasi kepada pakar untuk memastikan kesesuaian dengan kondisi lapangan. Adapun pelaksanaan wawancara pakar dilakukan 2 sesi untuk melihat ketepatan penilaian tingkat risiko dan pengendalian risiko baik untuk awal dan akhir. Berikut adalah beberapa point validasi yang dilakukan dalam bentuk wawancara: (1) Apakah penilaian tingkat risiko awal sudah tepat? (2) Apakah pengendalian risiko awal sudah tepat? (3) Apakah penilaian tingkat risiko akhir sudah tepat? (4) Apakah pengendalian risiko akhir sudah tepat?

Validasi menunjukkan penilaian risiko telah sesuai kondisi lapangan. Catatan pakar: sterilisasi area kerja ketat dan operator alat berat wajib bersertifikat resmi berlaku guna menjamin keselamatan kerja. Hal bertujuan menekan potensi kecelakaan akibat pergerakan material dan penggunaan alat angkat di area fasad meningkatkan kepatuhan terhadap standar K3 berlaku.

### **Pembahasan**

Beberapa penelitian lain seperti Lee dkk (2020) [31] melakukan perbandingan pemilihan material menggunakan kriteria dari karakteristik mekanis, fungsional dan fisik material seperti *Flexural Strength*, *Flexural Modulus*, *Impact Resistance*, *Density*, dan lainnya. Di sisi lain Bostancioglu (2021) [32] menganalisis faktor pemilihan material fasad yang lebih detail dengan menambahkan kemampuan teknis seperti kemampuan insulasi, dan ketahanan material terhadap api, angin, dan sinar matahari. Aydeniz dkk

(2025) [33], selain kriteria Lingkungan Hidup, Pembiayaan, dan kriteria sosial, juga menambahkan kriteria teknis sebagai bagian dari penilaian material fasad bangunan. Sebagaimana beberapa penelitian yang sudah dilakukan, penelitian ini menggunakan acuan kriteria yang mendasar namun untuk konteks penerapan di Indonesia.

Dalam penelitian ini, komponen biaya awal (*initial cost*) tidak menjadi faktor dominan dalam pembentukan total biaya siklus hidup. Di sisi lain, perbedaan biaya perawatan dan pemeliharaan pada kedua alternatif memberikan kontribusi perbedaan biaya yang sangat signifikan. Perbedaan biaya pembongkaran yang lebih rendah pada flamed andesite stone juga turut memperkecil total LCC.

Pada aspek K3, hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat risiko pada kedua material tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Nilai risiko yang dihasilkan berada dalam kategori yang dapat dikendalikan dan diterima melalui penerapan metode IBPRP serta pengawasan sesuai regulasi yang berlaku. Berikut adalah beberapa penelitian terkait risiko pekerjaan pemasangan material fasad dari berbagai perspektif. Dina dkk (2024) [34] melihat bahwa bahaya fisik dan ergonomi adalah yang utama dalam pekerjaan pemasangan fasad bangunan. Fudong dkk (2023) [35] menganalisis lebih dalam terkait bahaya pekerja kejatuhan/tertimpa material konstruksi yang dapat berakibat fatal. Sementara itu Abdillah dkk (2025) [36] melihat bahwa, selain aspek pemasangan material fasad, pekerjaan pemeliharaan material fasad juga memiliki risikonya tersendiri, yaitu pekerja ataupun orang yang berada di bawah lokasi pekerjaan rentan tertimpa objek.

Dengan demikian, karena aspek ekonomi menjadi kriteria dominan dan risiko K3 dari kedua material berada pada tingkat yang relatif setara serta dapat diterima, Flamed andesite stone ditetapkan sebagai alternatif material fasad yang paling rasional dan ekonomis untuk diterapkan pada proyek ini.

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut: hasil analisis AHP untuk kriteria pertimbangan pemilihan material diperoleh hasil faktor dengan urutan pertama adalah: faktor ekonomi (47,14%). Selanjutnya untuk analisis perbandingan LCC, Volcanic andesite stone memiliki nilai LCC sekitar 75,4% dari Flamed andesite stone, yaitu sebesar Rp 7.384.544.524 dan Rp. 9.790.992.117, meskipun perbandingan nilai

konstruksi Volcanic andesite stone lebih besar 1,43x. Dari sisi risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), pemasangan kedua jenis material andesit memiliki tingkat risiko yang relatif sedang ke tinggi, terutama terkait dengan bobot material, pekerjaan di ketinggian, serta penggunaan alat bantu angkat. Namun demikian, hasil validasi pakar menunjukkan bahwa sebagian besar hasil penilaian risiko yang dilakukan telah sesuai dengan kondisi lapangan.

## REFERENSI

- [1] A. A. Al-Amiery, W. N. R. W. Isahak, and W. K. Al-Azzawi, "Corrosion Inhibitors: Natural and Synthetic Organic Inhibitors," 2023. doi: 10.3390/lubricants11040174.
- [2] R. F. de F. Aires and L. Ferreira, "A New Multi-Criteria Approach for Sustainable Material Selection Problem," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 18, 2022, doi: 10.3390/su141811191.
- [3] E. Kesuma, "Analysis Of The Coefficient For 9 Cost Components To Implementing Construction Safety Management Systems On Flats Building Development Projects Based On Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Konstruksi Number 68 Years Of 2024," *Asian Journal of Engineering, Social and Health*, vol. 4, no. 8, 2025, doi: 10.46799/ajesh.v4i8.605.
- [4] Permen PUPR No. 10 Tahun 2021, "Permen PUPR No. 10 Tahun 2021," *Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia*, 2021.
- [5] J. Stofkova, M. Krejnus, K. R. Stofkova, P. Malega, and V. Binasova, "Use of the Analytic Hierarchy Process and Selected Methods in the Managerial Decision-Making Process in the Context of Sustainable Development," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 18, 2022, doi: 10.3390/su141811546.
- [6] ISO, "ISO 15686-5:2017," 2017.
- [7] R. P. Utari, Sulianto, A. Samad, and A. T. Wahono, "Analisis Biaya Konstruksi Menggunakan Metode Life Cycle Cost pada Gedung Cordova Edupartment Semarang," *Jurnal Media Teknik Sipil*, vol. 21, no. 2, 2023, doi: 10.22219/jmts.v21i2.32602.
- [8] H. Rabbani and H. Priyosulistyo, "Analisis Life Cycle Cost pada Bangunan Sekolah SMP Islam Al Azhar 17 Pontianak," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 10, no. 1, 2024.
- [9] H. Chen, Y. Mao, and R. Wang, "Safety Risk Prediction Model of High-Rise Building Construction Based on Key Physiological Index," *Buildings*, vol. 14, no. 12, 2024, doi: 10.3390/buildings14123795.
- [10] D. Das, D. Kundu, A. Rahman, M. Rahman, and S. Sazzad, "A Robotic-based Remote Control Painting System for Exterior Walls of High-Rise Buildings," in *2024 IEEE Conference on Computing Applications and Systems, COMPAS 2024*, 2024. doi: 10.1109/COMPAS60761.2024.10796801.
- [11] F. Edigan, L. R. Purnama Sari, and R. Amalia, "Hubungan Antara Perilaku Keselamatan Kerja Terhadap Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) Pada Karyawan PT Surya Agrolika Reksa Di Sei. Basau," *JURNAL SAINTIS*, vol. 19, no. 02, 2019, doi: 10.25299/saintis.2019.vol19(02).3741.
- [12] Nadhira Silvy and Ari Syaiful Rahman Arifin, "Implementasi Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi Berdasarkan Permen PUPR No. 10 Tahun 2021 Pada Gedung Perkuliahan," *Applied Science in Civil Engineering*, vol. 5, no. 4, pp. 663–672, Dec. 2024.
- [13] S. Badaruddin, A. Nabi, T. Trisnawathy, N. A. Farid, and S. M. Zaid, "Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi Pada proyek Renovasi Gedung Kelas Internasional Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin," *Journal of Applied Civil and Environmental Engineering*, vol. 3, no. 2, 2024, doi: 10.31963/jacee.v3i2.4620.
- [14] E. Zhafira, G. Rio Prayogi, and H. Wulandari, "Analisis Tingkat Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) pada Proyek Konstruksi Gedung di Bandar Lampung," *Nusantara Hasana Journal*, vol. 4, no. 12, 2025.
- [15] M. P. Strager and R. S. Rosenberger, "Incorporating stakeholder preferences for land conservation: Weights and measures in spatial MCA," *Ecological Economics*, vol. 58, no. 1, 2006, doi: 10.1016/j.ecolecon.2005.05.024.
- [16] M. A. Ara, M. S. Tamanna, M. Ali, A. Amin, and M. A. Shabur, "A hybrid AHP and statistical validation approach for sustainable supplier selection in apparel industry," *Discover Sustainability*, vol. 6, no. 1, 2025, doi: 10.1007/s43621-025-01416-1.
- [17] T. L. Saaty, "Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 145, no. 1, 2003, doi: 10.1016/S0377-2217(02)00227-8.

- [18] T. E. Chow and R. Sadler, "The consensus of local stakeholders and outside experts in suitability modeling for future camp development," *Landsc. Urban Plan.*, vol. 94, no. 1, 2010, doi: 10.1016/j.landurbplan.2009.07.013.
- [19] A. Ishizaka and A. Labib, "Review of the main developments in the analytic hierarchy process," 2011. doi: 10.1016/j.eswa.2011.04.143.
- [20] T. L. Saaty, *The analytic hierarchy process: planning*. 1980.
- [21] T. L. Saaty, "How to make a decision: The analytic hierarchy process," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 48, no. 1, 1990, doi: 10.1016/0377-2217(90)90057-1.
- [22] F. Liu, Y. Peng, W. Zhang, and W. Pedrycz, "On Consistency in AHP and Fuzzy AHP," *Journal of Systems Science and Information*, vol. 5, no. 2, 2017, doi: 10.21078/jssi-2017-128-20.
- [23] Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia, "Undang-Undang No. 36 Tahun 2008," Jakarta, Sep. 2008. Accessed: Apr. 14, 2026. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/details/39704/uu-no-36-tahun-2008>
- [24] D. Harpriani Dewi and Sapitri, "Kajian Pemborosan Waktu (Waste Time) Dan Implementasi Value Stream Mapping Pekerjaan Sloof dan Kolom," *JURNAL SAINTIS*, vol. 24, no. 01, 2024, doi: 10.25299/saintis.2024.vol24(01).16743.
- [25] K. Govindan, K. Madan Shankar, and D. Kannan, "Sustainable material selection for construction industry - A hybrid multi criteria decision making approach," 2016. doi: 10.1016/j.rser.2015.07.100.
- [26] D. Y. A. Damanik, "Implementation Of Life Cycle Cost in The Bus Station Building," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 20, no. 2, 2024, doi: 10.28932/jts.v20i2.6382.
- [27] I Gusti Ngurah Jaya Negara, "Peraturan Walikota Denpasar Nomor 22 Tahun 2025 tentang Standar Harga Jasa Tahun Anggaran 2026," Denpasar, Apr. 2025.
- [28] Deutscher Naturwerkstein - Verband e. V. (DNV), "Sustainability Study - Environmental Life Cycle Assessment of Natural Stone and Glass Facade," Wurzburg, Oct. 2010. Accessed: Apr. 14, 2026. [Online]. Available: [https://dnv.online/wp-content/uploads/2023/09/Sustainability-Study-of-facades.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://dnv.online/wp-content/uploads/2023/09/Sustainability-Study-of-facades.pdf?utm_source=chatgpt.com)
- [29] D. A. Rizky, "Analisis Life Cycle Cost Pada Gedung Kantor Unit Perbankan (Studi Kasus: Gedung Kantor Unit Perbankan Di Kabupaten Batubara)," *INTEKNA Jurnal Informasi Teknik dan Niaga*, vol. 25, no. 1, 2025.
- [30] Merinda Faradianti, "Daftar Bunga Kredit Bank Mandiri, BCA, BNI, BRI, BTN April 2025," Bloomberg Technoz.
- [31] D. Lee, D. Lee, M. Lee, M. Kim, and T. Kim, "Analytic hierarchy process-based construction material selection for performance improvement of building construction: The case of a concrete system form," *Materials*, vol. 13, no. 7, 2020, doi: 10.3390/ma13071738.
- [32] E. Bostancioglu, "Double skin façade assessment by fuzzy AHP and comparison with AHP," *Architectural Engineering and Design Management*, vol. 17, no. 1-2, 2021, doi: 10.1080/17452007.2020.1735292.
- [33] E. G. Aydeniz, İ. Güven, N. Özçelik, H. T. Çetin, and E. Ünlü, "Selection of Sustainable Facade Materials for Buildings Using Fermatean Fuzzy AHP & WASPAS Methodology," *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, vol. 49, no. 5, 2025, doi: 10.1177/10641246251328442.
- [34] Dina Febiani, A. Muh. Multazam, Andi Sani, Suharni A. Fachrin, and Yuliati, "Analisis Potensi Bahaya Pada Pekerja Facade (Curtain Wall) Dan Pengendalian Risiko Di Proyek Rumah Sakit UPT Vertikal Makassar," *Window of Public Health Journal*, vol. 5, no. 6, 2024, doi: 10.33096/woph.v5i6.2033.
- [35] F. Ma, D. Zhang, Z. Wang, X. Chen, and L. Jiang, "Risk Assessment of Falling Objects from Façades of Existing Buildings," *Buildings*, vol. 13, no. 1, 2023, doi: 10.3390/buildings13010190.
- [36] F. Alam Abdillah, A. Jayady, and H. N. Nurjaman, "Uncovering Hidden Risks in Government Building Facade Maintenance: Insights from Jakarta's Alucobond Panel Projects," *Engineering and Technology Journal*, vol. 10, no. 05, 2025, doi: 10.47191/etj/v10i05.30.

This page is intentionally blank