

Analisis Tingkat Penerapan *Green Construction* pada Proyek Universitas Triatma Mulya Internasional

[Analysis of the Level of Green Construction Implementation in the Universitas Triatma Mulya Internasional Construction Project]

I Putu Angga Wijaya¹⁾, I Gusti Made Sudika^{2)*}, Putu Gede Eka Sudiarta³⁾

**Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ngurah Rai,
Jl. Kampus Ngurah Rai No. 30, Penatih, Denpasar, Bali 80238, Indonesia**

¹⁾anggageok08@gmail.com, ²⁾made.sudika@unr.ac.id (corresponding), ³⁾ekasudiarta79@gmail.com

ABSTRAK

Sektor konstruksi membutuhkan pendekatan pelaksanaan yang mampu menekan konsumsi sumber daya dan dampak lingkungan tanpa mengabaikan keselamatan serta kinerja proyek. Penelitian ini bertujuan menilai tingkat penerapan *green construction* pada Proyek Pembangunan Universitas Triatma Mulya Internasional di Kabupaten Badung, Bali, serta mengidentifikasi aspek yang menjadi kekuatan dan prioritas peningkatan. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif melalui observasi, dokumentasi, dan kuesioner terhadap 50 responden yang dipilih secara purposive dari pihak yang terlibat langsung dalam pelaksanaan proyek. Instrumen terdiri atas 28 butir yang dikelompokkan ke dalam tujuh indikator: pengelolaan material ramah lingkungan, efisiensi energi, efisiensi air, pengelolaan limbah konstruksi, pengendalian polusi dan dampak lingkungan, Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), serta manajemen lingkungan proyek. Data dianalisis menggunakan nilai rata-rata skala Likert lima tingkat dan dikonversi menjadi indeks penerapan. Hasil menunjukkan nilai rata-rata keseluruhan 4,18 atau indeks 83,6% dengan kategori tinggi. K3 memperoleh nilai tertinggi (4,46), diikuti pengelolaan limbah (4,31), sedangkan efisiensi air terendah (3,96). Temuan menegaskan bahwa penguatan konservasi air, efisiensi energi, dan pemantauan kinerja lingkungan terukur perlu diprioritaskan untuk meningkatkan konsistensi penerapan *green construction*.

Kata kunci: *Green construction; konstruksi berkelanjutan; manajemen konstruksi; efisiensi sumber daya; proyek gedung pendidikan.*

ABSTRACT

The construction sector requires implementation approaches that reduce resource consumption and environmental impacts without compromising safety and project performance. This study assesses the level of green construction implementation in the Universitas Triatma Mulya Internasional Construction Project in Badung Regency, Bali, and identifies its strengths and improvement priorities. A quantitative descriptive approach was adopted using field observation, documentation, and a questionnaire administered to 50 purposively selected respondents directly involved in project execution. The instrument comprised 28 items grouped into seven indicators: environmentally responsible material management, energy efficiency, water efficiency, construction waste management, pollution and environmental impact control, occupational health and safety (OHS), and project environmental management. Data were analyzed using mean scores on a five-point Likert scale and converted into implementation indices. The overall mean was 4.18, equivalent to an implementation index of 83.6%, and categorized as high. OHS recorded the highest score (4.46), followed by construction waste management (4.31), whereas water efficiency had the lowest score (3.96). The findings indicate that water conservation, energy efficiency, and measurable environmental performance monitoring should be prioritized to strengthen the consistency of green construction implementation.

Keywords: *Green construction; sustainable construction; construction management; resource efficiency; educational building project.*

PENDAHULUAN

Industri konstruksi berperan penting dalam penyediaan infrastruktur dan fasilitas publik, tetapi aktivitasnya juga berkaitan dengan konsumsi material, energi, air, timbunan limbah, emisi, serta gangguan terhadap lingkungan sekitar. Literatur konstruksi berkelanjutan menunjukkan bahwa pengelolaan proyek perlu bergerak melampaui sasaran biaya, mutu, dan waktu dengan memasukkan dimensi lingkungan dan sosial ke dalam keputusan proyek (Goh et al., 2020; Kiani Mavi et al., 2021). Dalam konteks kota rendah karbon, pengurangan konsumsi energi dan material, minimisasi limbah, pemanfaatan kembali sumber daya, dan pengendalian emisi selama siklus pembangunan menjadi komponen penting untuk menekan jejak lingkungan sektor konstruksi (Chen et al., 2023).

Di Indonesia, arah kebijakan tersebut telah diperkuat melalui Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 9 Tahun 2021 tentang Pedoman Penyelenggaraan Konstruksi Berkelanjutan serta Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 21 Tahun 2021 tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau. Kedua regulasi tersebut menegaskan perlunya penyelenggaraan konstruksi yang mempertimbangkan efisiensi sumber daya, kinerja lingkungan, serta keberlanjutan bangunan. Dengan demikian, *green construction* tidak hanya dipahami sebagai pemilihan teknologi atau material hijau, tetapi sebagai praktik manajemen pelaksanaan yang mengintegrasikan pengendalian sumber daya, limbah, pencemaran, keselamatan, dan komitmen organisasi proyek.

Kontraktor merupakan aktor utama pada tahap pelaksanaan sehingga kemampuan organisasi dan personel proyek sangat menentukan keterwujudan *green construction*. Setiawan et al. (2019) mengembangkan *Green Construction Capability Model* yang mengelompokkan kapabilitas kontraktor ke dalam aspek konservasi energi, konservasi air, keselamatan dan kesehatan, manajemen lingkungan, penggunaan lahan, kualitas udara, serta sumber dan siklus material. Tinjauan sistematis Gu et al. (2023) juga menegaskan bahwa kapabilitas *green construction* dibentuk oleh kombinasi sumber daya, kompetensi manajerial, koordinasi, pengetahuan, dan mekanisme pengendalian. Pada tingkat proyek, keberhasilan praktik hijau turut dipengaruhi kolaborasi, keterlibatan awal, dan komitmen para pihak (Venkataraman & Cheng, 2018).

Kajian di Indonesia menunjukkan bahwa tingkat penerapan *green construction* belum seragam. Sudiartha et al. (2015) pada proyek gedung di Kabupaten Badung memperoleh tingkat penerapan 65,14% dan menemukan efisiensi air sebagai aspek yang relatif paling rendah. Adistianti dan Sucita (2020) pada proyek apartemen di Jakarta Pusat melaporkan capaian rata-rata 85,08% dengan instrumen yang mencakup K3, limbah, material, air, energi, dan manajemen lingkungan. Pada konteks Bali yang lebih mutakhir, Praganingrum et al. (2023) mengevaluasi proyek Pasar Gianyar dan mendapatkan rata-rata penerapan 52,8%; aspek K3 menjadi yang tertinggi, sedangkan beberapa aspek kualitas udara serta pelatihan subkontraktor masih lemah. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa profil penerapan sangat dipengaruhi karakter proyek, sistem manajemen, dan kesiapan organisasi.

Gedung Universitas Triatma Mulia International adalah Gedung baru yang dibangun di lahan terpisah dengan Gedung induk Universitas Triatma Mulia yang khusus disiapkan untuk memfasilitasi kegiatan proses belajar mengajar dan fasilitas berkelas internasional. Gedung terdiri dari 5 lantai, dilengkapi dengan 2 lantai basement. Luas masing-masing lantai sekitar 44x28 m² atau total luas lantai adalah 6.160,00 m². Gedung ini terletak di Jl. Raya Padang Luwih No.120, Dalung, Kec. Kuta Utara, Kabupaten Badung, Bali.

Meskipun studi *green construction* di Bali telah tersedia, kajian yang secara khusus mengevaluasi proyek fasilitas pendidikan dengan pendekatan tujuh indikator tingkat pelaksanaan masih terbatas. Bangunan pendidikan penting dikaji karena proses konstruksinya perlu menghasilkan fasilitas berumur layanan panjang sekaligus meminimalkan dampak lingkungan selama pembangunan. Posisi penelitian ini terletak pada evaluasi satu proyek gedung pendidikan melalui persepsi 50 pelaku proyek dan pengelompokan indikator yang langsung terkait dengan operasi lapangan. Kebaruan praktis penelitian adalah penyusunan profil kekuatan dan prioritas peningkatan yang dapat digunakan manajemen proyek untuk menentukan fokus perbaikan, bukan hanya menyatakan tingkat penerapan secara agregat.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan: (1) menganalisis tingkat penerapan *green construction* secara keseluruhan pada Proyek Pembangunan Universitas Triatma Mulya Internasional; (2) menentukan indikator dengan tingkat penerapan tertinggi dan terendah; serta (3) merumuskan implikasi manajerial untuk peningkatan kinerja *green construction*. Hasil penelitian diharapkan memperkaya bukti empiris mengenai konstruksi berkelanjutan pada proyek gedung pendidikan di Bali dan menjadi masukan bagi kontraktor serta pemilik proyek dalam membangun sistem pengendalian lingkungan yang lebih terukur.

Tabel 1. Posisi Penelitian terhadap Studi Terdahulu

Studi	Objek/Pendekatan	Relevansi terhadap Penelitian Ini
Sudiarta et al. (2015)	Proyek gedung di Kabupaten Badung; survei deskriptif.	Memberikan baseline lokal Bali dan menunjukkan efisiensi air sebagai aspek yang relatif lemah.
Setiawan et al. (2019)	Pengembangan Green Construction Capability Model untuk kontraktor.	Menjadi pijakan konseptual aspek kapabilitas <i>green construction</i> pada tahap pelaksanaan.
Praganingrum et al. (2023)	Proyek Pasar Gianyar; observasi dan kuesioner 28 responden.	Menunjukkan variasi implementasi lokal dan dominasi aspek K3 pada proyek di Bali.
Penelitian ini	Proyek gedung pendidikan; observasi, dokumentasi, dan kuesioner 50 responden.	Memetakan tujuh indikator operasional dan menetapkan prioritas peningkatan berbasis nilai relatif setiap indikator.

Sumber: Sintesis penulis berdasarkan studi terdahulu.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain kuantitatif deskriptif dengan pendekatan studi kasus pada Proyek Pembangunan Universitas Triatma Mulya Internasional yang berlokasi di Kabupaten Badung, Provinsi Bali. Unit analisis adalah praktik pelaksanaan *green construction* pada tahap konstruksi. Desain studi kasus dipilih karena penelitian berfokus pada pengukuran kondisi implementasi dalam satu konteks proyek secara mendalam, sehingga hasilnya ditafsirkan secara deskriptif dan tidak dimaksudkan untuk generalisasi statistik terhadap seluruh proyek konstruksi.

Populasi penelitian mencakup pihak yang terlibat langsung dalam pelaksanaan proyek, antara lain Project Manager, Site Manager, Site Engineer/Supervisor, personel Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3/HSE), mandor, dan pekerja konstruksi. Responden dipilih dengan teknik *purposive sampling* berdasarkan tiga kriteria: terlibat langsung dalam pelaksanaan proyek, memiliki masa keterlibatan minimal satu bulan, dan memahami proses pelaksanaan pekerjaan. Berdasarkan kriteria tersebut diperoleh 50 responden.

Data primer dikumpulkan melalui observasi lapangan dan kuesioner, sedangkan dokumentasi proyek digunakan sebagai data pendukung. Kuesioner menggunakan skala Likert lima tingkat, yaitu 1 = sangat tidak diterapkan, 2 = tidak diterapkan, 3 = cukup diterapkan, 4 = diterapkan, dan 5 = sangat diterapkan. Berdasarkan naskah awal, instrumen terdiri atas 28 butir pernyataan, dengan empat butir pada setiap indikator. Penyusunan indikator diselaraskan dengan konsep kapabilitas *green construction* pada tahap pelaksanaan (Setiawan et al., 2019; Gu et al., 2023), praktik *green construction* di Indonesia (Adiantanti & Sucita, 2020; Praganingrum et al., 2023), serta prinsip penyelenggaraan konstruksi berkelanjutan nasional.

Tabel 2. Operasionalisasi Indikator Green Construction

Indikator	Fokus Operasional	Jumlah Butir
Pengelolaan material ramah lingkungan	Pemilihan material ramah lingkungan/lokal, efisiensi penggunaan, dan pemanfaatan kembali sisa material.	4
Efisiensi penggunaan energi	Efisiensi operasi peralatan, pengendalian listrik, penerangan hemat energi, dan pemantauan penggunaan energi.	4
Efisiensi penggunaan air	Pengendalian konsumsi, penggunaan sesuai kebutuhan, pencegahan kebocoran, dan pemanfaatan kembali air bila memungkinkan.	4

Indikator		Fokus Operasional	Jumlah Butir
Pengelolaan limbah konstruksi		Pemilahan, pemanfaatan kembali, pembuangan sesuai prosedur, dan kebersihan area kerja.	4
Pengendalian dampak lingkungan	polusi dan	Pengendalian debu, kebisingan, pencemaran tanah/air, dan pemantauan dampak lingkungan.	4
Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)	dan	Penggunaan APD, rambu keselamatan, inspeksi/pengawasan, serta fasilitas keselamatan dan tanggap darurat.	4
Manajemen proyek	lingkungan	Kebijakan/prosedur, pengarahan pekerja, evaluasi berkala, dan komitmen manajemen.	4

Sumber: Diolah dari instrumen dan literatur terkait.

Analisis dilakukan menggunakan statistik deskriptif berupa nilai rata-rata setiap indikator. Nilai rata-rata kemudian diklasifikasikan menjadi lima kategori: sangat rendah (1,00–1,80), rendah (1,81–2,60), sedang (2,61–3,40), tinggi (3,41–4,20), dan sangat tinggi (4,21–5,00). Untuk memudahkan interpretasi manajerial, nilai rata-rata juga dikonversi menjadi indeks penerapan dengan membandingkan skor rata-rata terhadap skor maksimum 5. Indeks ini bukan ukuran baru yang berdiri sendiri, melainkan representasi persentase dari skor rata-rata yang telah diperoleh.

Sebelum analisis deskriptif dilakukan, kualitas instrumen dievaluasi melalui uji validitas dan reliabilitas. Uji validitas dilakukan menggunakan korelasi Pearson Product Moment antara skor setiap butir dan skor total indikator pada taraf signifikansi 5%. Butir dinyatakan valid apabila nilai r -hitung lebih besar daripada r -tabel dan nilai signifikansi $< 0,05$. Reliabilitas internal setiap indikator dan keseluruhan instrumen dinilai menggunakan Cronbach's Alpha, dengan nilai $\alpha \geq 0,70$ digunakan sebagai kriteria praktis reliabilitas. Setelah instrumen memenuhi kriteria, analisis dilanjutkan dengan perhitungan mean, simpangan baku, indeks penerapan, kategori, dan peringkat setiap indikator.

Interpretasi hasil dilakukan dalam dua tahap. Pertama, tingkat penerapan ditentukan berdasarkan kategori skor. Kedua, setiap indikator dirangking untuk mengidentifikasi kekuatan dan prioritas peningkatan relatif. Pembahasan kemudian membandingkan pola temuan dengan penelitian terdahulu dan regulasi terkait, dengan memperhatikan bahwa perbedaan instrumen dan skala antarpengelitian tidak memungkinkan perbandingan numerik secara langsung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Responden

Pada data penelitian, responden berasal dari berbagai posisi yang terlibat langsung dalam pelaksanaan proyek, mulai dari tingkat manajerial, pengawasan teknis, fungsi K3/HSE, mandor, hingga pekerja konstruksi. Komposisi tersebut dimaksudkan untuk menggambarkan variasi perspektif antara pihak yang mengambil keputusan, mengendalikan pekerjaan, dan melaksanakan pekerjaan di lapangan. Distribusi responden berdasarkan peran disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik Responden Berdasarkan Peran (Penelitian)

Peran	Frekuensi	Persentase (%)
Project Manager	1	2,0
Site Manager	1	2,0
Site Engineer/Supervisor	5	10,0
K3/HSE	4	8,0
Mandor	10	20,0
Pekerja Konstruksi	29	58,0
Jumlah	50	100,0

Sumber: Hasil pengolahan data, 2026.

Berdasarkan Tabel 3, kelompok pekerja konstruksi merupakan proporsi terbesar dalam data penelitian, yaitu 29 orang (58,0%), diikuti mandor sebanyak 10 orang (20,0%), Site Engineer/Supervisor sebanyak 5 orang (10,0%), personel K3/HSE sebanyak 4 orang (8,0%), Site Manager sebanyak 1 orang (2,0%), dan Project Manager sebanyak 1 orang (2,0%). Secara

metodologis, keberadaan responden dari beberapa tingkatan organisasi penting karena penerapan green construction tidak hanya bergantung pada kebijakan manajemen, tetapi juga pada konsistensi implementasi pada tingkat operasional.

Tabel 4. Karakteristik Responden Berdasarkan Masa Keterlibatan pada Proyek

Masa Keterlibatan	Frekuensi	Persentase (%)
1–3 bulan	12	24,0
4–6 bulan	18	36,0
7–12 bulan	14	28,0
>12 bulan	6	12,0
Jumlah	50	100,0

Sumber: Hasil pengolahan data, 2026.

Tabel 4 menunjukkan bahwa pada data penelitian, responden dengan masa keterlibatan 4–6 bulan merupakan kelompok terbesar (36,0%), disusul 7–12 bulan (28,0%), 1–3 bulan (24,0%), dan lebih dari 12 bulan (12,0%). Secara konseptual, masa keterlibatan minimal satu bulan sesuai dengan kriteria purposive sampling pada rancangan penelitian karena responden diharapkan telah memiliki pengalaman yang cukup untuk mengamati praktik pelaksanaan proyek.

Uji Validitas Instrumen

Uji validitas pada data penelitian dilakukan menggunakan korelasi Pearson Product Moment antara skor setiap butir dan skor total indikator. Dengan jumlah responden 50 orang, derajat bebas (df) = 48, dan taraf signifikansi 5% dua arah, nilai r-tabel yang digunakan adalah 0,279. Butir dinyatakan memenuhi kriteria validitas apabila r-hitung lebih besar daripada r-tabel dan nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Validitas Instrumen Green Construction

Butir	r-hitung	r-tabel	Sig.	Keputusan
X1.1	0,826	0,279	< 0,001	Valid
X1.2	0,846	0,279	< 0,001	Valid
X1.3	0,835	0,279	< 0,001	Valid
X1.4	0,872	0,279	< 0,001	Valid
X2.1	0,884	0,279	< 0,001	Valid
X2.2	0,829	0,279	< 0,001	Valid
X2.3	0,797	0,279	< 0,001	Valid
X2.4	0,822	0,279	< 0,001	Valid
X3.1	0,817	0,279	< 0,001	Valid
X3.2	0,781	0,279	< 0,001	Valid
X3.3	0,803	0,279	< 0,001	Valid
X3.4	0,730	0,279	< 0,001	Valid
X4.1	0,791	0,279	< 0,001	Valid
X4.2	0,847	0,279	< 0,001	Valid
X4.3	0,875	0,279	< 0,001	Valid
X4.4	0,890	0,279	< 0,001	Valid
X5.1	0,859	0,279	< 0,001	Valid
X5.2	0,897	0,279	< 0,001	Valid
X5.3	0,810	0,279	< 0,001	Valid
X5.4	0,852	0,279	< 0,001	Valid
X6.1	0,817	0,279	< 0,001	Valid
X6.2	0,859	0,279	< 0,001	Valid
X6.3	0,842	0,279	< 0,001	Valid
X6.4	0,877	0,279	< 0,001	Valid
X7.1	0,855	0,279	< 0,001	Valid
X7.2	0,826	0,279	< 0,001	Valid
X7.3	0,804	0,279	< 0,001	Valid
X7.4	0,826	0,279	< 0,001	Valid

Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai r-hitung seluruh butir pada data penelitian berada pada rentang 0,730–0,897 dan seluruhnya lebih besar daripada r-tabel 0,279. Nilai signifikansi juga berada di bawah 0,05. Dengan demikian, secara statistik seluruh 28 butir pada dataset penelitian memenuhi kriteria validitas yang ditetapkan.

Uji Reliabilitas Instrumen

Reliabilitas instrumen pada data penelitian dianalisis menggunakan koefisien Cronbach's Alpha. Dalam penelitian ini digunakan batas praktis 0,70 untuk menilai konsistensi internal. Hasil pengujian reliabilitas setiap indikator dan keseluruhan instrumen disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji Reliabilitas Instrumen Green Construction

Kode	Indikator	Jumlah Butir	Cronbach's Alpha	Keputusan
X1	Pengelolaan Material Ramah Lingkungan	4	0,860	Reliabel
X2	Efisiensi Penggunaan Energi	4	0,854	Reliabel
X3	Efisiensi Penggunaan Air	4	0,788	Reliabel
X4	Pengelolaan Limbah Konstruksi	4	0,872	Reliabel
X5	Pengendalian Polusi dan Dampak Lingkungan	4	0,876	Reliabel
X6	Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)	4	0,868	Reliabel
X7	Manajemen Lingkungan Proyek	4	0,844	Reliabel
TOTAL	Keseluruhan Instrumen	28	0,942	Reliabel

Sumber: Hasil pengolahan data, 2026.

Nilai Cronbach's Alpha pada tujuh indikator data penelitian berada antara 0,788 dan 0,876, sedangkan nilai alpha untuk keseluruhan 28 butir adalah 0,942. Berdasarkan kriteria yang digunakan dalam penelitian, seluruh indikator memiliki konsistensi internal yang memadai.

Statistik Deskriptif Tingkat Penerapan Green Construction

Analisis deskriptif dilakukan terhadap skor rata-rata tujuh indikator. Selain nilai mean, ditampilkan simpangan baku (standard deviation/SD), indeks penerapan, proporsi jawaban pada kategori 4–5, kategori tingkat penerapan, dan peringkat. Ringkasan hasil data penelitian disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Statistik Deskriptif Tingkat Penerapan Green Construction

Peringkat	Indikator	Mean	SD	Indeks (%)	Kategori
1	K3	4,46	0,552	89,2	Sangat Tinggi
2	Limbah	4,31	0,611	86,2	Sangat Tinggi
3	Manaj. lingkungan	4,21	0,549	84,2	Sangat Tinggi
4	Material	4,18	0,583	83,6	Tinggi
5	Polusi/dampak	4,12	0,665	82,4	Tinggi
6	Energi	4,05	0,633	81,0	Tinggi
7	Air	3,96	0,503	79,2	Tinggi
	Rata-rata keseluruhan	4,18	0,440	83,6	Tinggi

Sumber: Hasil pengolahan data, 2026. Indeks = $\text{mean}/5 \times 100\%$.

Rata-rata keseluruhan pada dataset draft sebesar 4,184 dan dibulatkan menjadi 4,18, dengan SD 0,440 serta indeks 83,6%. Berdasarkan interval penilaian, capaian tersebut termasuk kategori tinggi. Sekitar 84,0% jawaban berada pada skor 4 atau 5, sehingga pola respons secara umum condong pada penilaian positif terhadap praktik green construction. Akan tetapi, perbedaan nilai antarindikator menunjukkan bahwa tingkat kematangan penerapan tidak seragam pada seluruh aspek.

PEMBAHASAN

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Indikator K3 memperoleh nilai tertinggi, yaitu mean 4,46, SD 0,552, indeks 89,2%, dan proporsi jawaban 4–5 sebesar 91,5%. Pada tingkat butir, X6.1 (penggunaan APD sesuai ketentuan) memperoleh nilai yang sangat tinggi, diikuti ketersediaan

rambu, pengawasan rutin, dan fasilitas keselamatan. Capaian ini menunjukkan bahwa K3 telah menjadi prosedur yang relatif terinstitusionalisasi dalam manajemen proyek. Dalam perspektif keberlanjutan, keselamatan pekerja merupakan bagian dari dimensi sosial yang harus dipadukan dengan kinerja lingkungan, bukan diperlakukan sebagai aspek yang berdiri sendiri (Goh et al., 2020; Hinze et al., 2013). Hinze et al. (2013) menegaskan bahwa keselamatan dan kesehatan pekerja perlu dimasukkan ke dalam penilaian konstruksi berkelanjutan, sedangkan Karakhan dan Gambatese (2017) menunjukkan pentingnya integrasi *Prevention through Design* untuk mengantisipasi risiko yang dapat muncul pada *green construction*. Dengan demikian, tingginya skor K3 pada proyek ini merupakan kekuatan penting, tetapi tetap memerlukan pengendalian berkelanjutan karena penerapan teknologi atau metode hijau tidak secara otomatis menjamin risiko keselamatan yang lebih rendah.

Pengelolaan limbah konstruksi. Indikator ini berada pada peringkat kedua dengan mean 4,31, SD 0,611, indeks 86,2%, dan 87,5% jawaban berada pada skor 4–5. Butir X4.2 mengenai pemanfaatan kembali material sisa yang masih layak dan X4.4 mengenai kebersihan area proyek menunjukkan bahwa praktik reduce–reuse telah memperoleh perhatian kuat. Temuan tersebut relevan dengan konsep circular construction, yaitu mengurangi kebutuhan material baru, mempertahankan nilai material, dan menekan aliran limbah menuju pembuangan akhir. Ghaffar et al. (2020) menekankan perlunya pengelolaan terpadu limbah konstruksi dan pembongkaran untuk pemulihan sumber daya, sedangkan Benachio et al. (2020) menunjukkan bahwa circular economy pada sektor konstruksi terutama berkembang melalui reuse material, material stock, life-cycle assessment, dan material passport. Hasil penelitian juga konsisten dengan Mahinkanda et al. (2023), yang menempatkan keputusan dan koordinasi sejak tahap awal sebagai faktor penting untuk minimisasi limbah. Karena itu, capaian sangat tinggi perlu dipertahankan melalui pencatatan volume limbah, persentase reuse/recycling, pemilahan berdasarkan jenis, serta bukti alur pembuangan yang terdokumentasi.

Manajemen lingkungan proyek. Manajemen lingkungan memperoleh mean 4,21, SD 0,549, indeks 84,2%, dan 88,5% jawaban pada skor 4–5. Nilai tersebut berada tepat pada batas kategori sangat tinggi. Butir X7.2 mengenai pengarahan kepada pekerja dan X7.4 mengenai komitmen manajemen menunjukkan bahwa keberlanjutan telah memperoleh dukungan organisasi. Literatur memperlihatkan bahwa kinerja konstruksi berkelanjutan sangat bergantung pada kapabilitas organisasi, kepemimpinan, koordinasi, kompetensi, dan sistem pengendalian proyek (Gu et al., 2023; Ershadi & Goodarzi, 2021). Stanitsas et al. (2021) juga menekankan perlunya memasukkan indikator keberlanjutan secara sistematis ke dalam manajemen proyek sehingga aspek lingkungan dapat dipantau bersama sasaran proyek lainnya. Dalam konteks Indonesia, Willar dan Trigunarsyah (2021) menunjukkan bahwa hambatan implementasi konstruksi berkelanjutan dapat muncul sepanjang siklus proyek, termasuk pada kompetensi penyedia jasa dan penerapan teknologi green construction. Oleh karena itu, komitmen manajemen proyek perlu diterjemahkan menjadi target kuantitatif, penanggung jawab, jadwal inspeksi, tindakan korektif, dan evaluasi berkala yang dapat diaudit.

Pengelolaan material ramah lingkungan. Indikator material memperoleh mean 4,18, SD 0,583, indeks 83,6%, dengan 86,5% jawaban berada pada skor 4–5. Butir X1.3 mengenai penggunaan material secara efisien dan X1.4 mengenai pemanfaatan kembali sisa material memperlihatkan bahwa pengurangan pemborosan merupakan kekuatan utama. Hasil ini selaras dengan pendekatan *lean dan circular economy* yang sama-sama menempatkan pengurangan *waste*, peningkatan efisiensi aliran material, dan pemanfaatan kembali sumber daya sebagai strategi penting untuk menekan dampak lingkungan (Francis & Thomas, 2020; Benachio et al., 2020). Tinjauan Lima et al. (2021) juga menunjukkan bahwa material merupakan salah satu tema dominan dalam riset keberlanjutan konstruksi, bersama energi, project management, dan *sustainability assessment*. Pada konteks nasional, Kurniawan dan Husin (2023) menemukan bahwa spesifikasi teknis, pemilihan material alternatif, sistem penanganan sampah, efisiensi energi, dan sumber air termasuk faktor yang berpengaruh dalam implementasi konsep green pada proyek bangunan industri. Implikasinya, proyek perlu bergerak dari efisiensi pemakaian material menuju pengadaan berbasis bukti, misalnya asal lokal, kandungan daur ulang, sertifikat lingkungan, dan dokumentasi reuse.

Pengendalian polusi dan dampak lingkungan. Indikator ini memperoleh mean 4,12, SD 0,665, indeks 82,4%, dan 79,5% jawaban 4–5. Butir X5.1 tentang pengendalian debu memperoleh mean tertinggi, sedangkan pengendalian kebisingan, pencegahan pencemaran tanah/saluran air, dan

pemantauan berkala masih menunjukkan ruang peningkatan. Literatur green construction menempatkan pengendalian dampak lingkungan sebagai bagian inti dari implementasi konstruksi berkelanjutan, terutama karena tahap pelaksanaan berkaitan langsung dengan emisi, debu, kebisingan, air limbah, dan gangguan terhadap lingkungan sekitar (Luo et al., 2022; Chen et al., 2023). Agnes dan Koestoer (2021) juga menunjukkan bahwa regulasi konstruksi berkelanjutan di Asia, termasuk Indonesia, berkembang sebagai respons terhadap besarnya konsumsi energi, air, emisi, dan limbah sektor konstruksi. Nilai SD yang relatif lebih besar pada indikator ini mengisyaratkan perlunya standarisasi praktik antararea dan antartim melalui jadwal inspeksi, parameter batas, dokumentasi keluhan, catatan tindakan korektif, dan pengukuran lapangan yang konsisten.

Efisiensi penggunaan energi. Efisiensi energi memperoleh mean 4,05, SD 0,633, indeks 81,0%, dan 77,0% jawaban pada skor 4–5. Butir X2.3 mengenai penggunaan lampu hemat energi memiliki mean tertinggi, sedangkan pemantauan penggunaan energi masih dapat diperkuat. Temuan ini konsisten dengan literatur yang menempatkan energi sebagai salah satu tema utama dalam sustainable construction dan low-carbon construction (Lima et al., 2021; Chen et al., 2023). Stanitsas et al. (2021) menekankan pentingnya indikator keberlanjutan yang terintegrasi dalam manajemen proyek, sehingga konsumsi energi sebaiknya tidak hanya dikendalikan melalui perilaku pekerja tetapi juga diukur melalui indikator operasional. Studi Kurniawan dan Husin (2023) pada konteks Indonesia juga menunjukkan bahwa perhitungan efisiensi energi termasuk faktor berpengaruh dalam implementasi konsep green. Oleh karena itu, peningkatan dapat diarahkan pada pencatatan kWh, jam operasi peralatan, idle time, penggunaan peralatan hemat energi, serta target pengurangan konsumsi per periode atau per volume pekerjaan.

Efisiensi penggunaan air. Efisiensi air memperoleh mean terendah, yaitu 3,96, SD 0,503, indeks 79,2%, dengan 77,5% jawaban berada pada skor 4–5. Butir X3.3 mengenai pengurangan kehilangan atau kebocoran air dan X3.4 mengenai pemanfaatan kembali air menunjukkan bahwa pengendalian teknis dan reuse masih menjadi area pengembangan. Posisi ini sejalan dengan pola penelitian lokal sebelumnya yang menempatkan konservasi air sebagai aspek relatif lemah pada proyek gedung di Badung (Sudiarta et al., 2015). Bukti dari studi kinerja bangunan hijau juga menunjukkan bahwa estimasi penghematan air dapat terlalu optimistis apabila tidak dibandingkan dengan penggunaan aktual; karena itu, pengukuran konsumsi aktual menjadi penting untuk menilai efektivitas kebijakan konservasi (Luo, Scofield, & Qiu, 2021). Dalam konteks regulasi dan konstruksi berkelanjutan Indonesia, isu air juga termasuk bagian penting dari efisiensi sumber daya (Agnes & Koestoer, 2021). Peningkatan praktis dapat dilakukan melalui meter air, pencatatan m³ per periode, inspeksi kebocoran, reuse air untuk kebutuhan nonpotabel yang aman, dan penetapan target konsumsi per jenis pekerjaan.

Pembahasan Terintegrasi dan Implikasi Manajerial

Secara keseluruhan, urutan indikator pada data penelitian menunjukkan pola bahwa praktik yang telah memiliki prosedur kepatuhan dan rutinitas pengawasan yang jelas terutama K3, pengelolaan limbah, dan manajemen lingkungan—cenderung memperoleh skor lebih tinggi dibanding praktik yang membutuhkan pengukuran kinerja sumber daya secara kontinu seperti energi dan air. Pola tersebut sesuai dengan kajian yang menekankan bahwa sustainable construction project management membutuhkan kombinasi kapabilitas organisasi, indikator yang terintegrasi, pengetahuan teknis, koordinasi, dan sistem monitoring yang konsisten (Ershadi & Goodarzi, 2021; Stanitsas et al., 2021; Gu et al., 2023). Tinjauan scientometric Luo et al. (2022) juga memperlihatkan bahwa green construction berkembang sebagai bidang yang mencakup penilaian dampak lingkungan, teknologi, material, energi, manajemen, dan kebijakan. Dengan demikian, peningkatan tingkat penerapan sebaiknya diarahkan pada pematangan sistem manajemen, bukan hanya peningkatan kepatuhan pada tindakan-tindakan individual. Moshood et al. (2025) juga menekankan perlunya memperluas pertimbangan keberlanjutan dalam pengelolaan proyek konstruksi agar keputusan proyek tidak hanya berorientasi pada sasaran konvensional, tetapi juga pada dampak lingkungan dan sosial.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa rata-rata keseluruhan 4,18 berada sangat dekat dengan batas kategori sangat tinggi 4,21. Namun, sasaran manajemen sebaiknya tidak semata-mata diarahkan untuk menaikkan kategori skor, melainkan meningkatkan keterlacakan bukti kinerja.

Tinjauan Vaghefi-Rezaee et al. (2024) menunjukkan bahwa hambatan konstruksi berkelanjutan bersifat multidimensi, mencakup aspek manajemen, teknis, material, kebijakan, dan kesadaran, sehingga perbaikan perlu dirancang secara terintegrasi. Fathalizadeh et al. (2021) menunjukkan bahwa hambatan sustainable project management saling berhubungan sehingga solusi tunggal sering tidak memadai; pendekatan perbaikan perlu menyentuh aspek organisasi, pengetahuan, kebijakan, teknologi, dan koordinasi. Dalam konteks Indonesia, Prasetyawan et al. (2023) menemukan bahwa cost-risk serta knowledge-information barrier berpengaruh signifikan terhadap implementasi green building di Jakarta, sementara Willar dan Trigunarsyah (2021) menyoroti hambatan kompetensi dan teknologi green construction pada tahap pelaksanaan. Oleh karena itu, proyek disarankan mengembangkan environmental performance dashboard yang minimal memuat kWh energi, m³ air, volume/berat limbah, persentase material reuse/recycling, jumlah keluhan lingkungan, frekuensi inspeksi, dan status tindakan korektif.

Dibandingkan studi lokal, profil penelitian memiliki kemiripan pola dengan Praganingrum et al. (2023), terutama pada dominasi K3, serta dengan Sudiarta et al. (2015) pada posisi efisiensi air sebagai aspek yang relatif lemah. Temuan tersebut dapat dibaca bersama studi Indonesia yang lebih luas. Kurniawan dan Husin (2023) menunjukkan bahwa efisiensi energi, sumber air, penanganan sampah, material alternatif, aturan pendukung, dan kinerja manajer proyek merupakan faktor penting dalam implementasi konsep green. Prasetyawan et al. (2023) memperlihatkan bahwa kendala implementasi tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga berkaitan dengan risiko biaya serta keterbatasan pengetahuan dan informasi. Sementara itu, Willar dan Trigunarsyah (2021) menegaskan bahwa hambatan konstruksi berkelanjutan dapat muncul sejak tahap program hingga pembongkaran. Sintesis ini memperkuat argumentasi bahwa implementasi green construction perlu dikelola sebagai sistem sepanjang siklus proyek, dengan perhatian simultan pada sumber daya, manusia, teknologi, kebijakan, dan kapabilitas organisasi.

Dalam konteks Bali, penguatan green construction juga dapat diarahkan pada integrasi praktik teknis dengan nilai dan pengetahuan lokal. Sri Kristinayanti et al. (2024) menunjukkan bahwa integrasi green construction dan local wisdom berpotensi mendukung keberlanjutan ekonomi, sosial, dan lingkungan. Argumen tersebut dapat diperkaya dengan temuan penelitian internasional yang menekankan bahwa keberlanjutan konstruksi harus dipahami secara multidimensi dan tidak berhenti pada penurunan dampak lingkungan semata (Lima et al., 2021; Goh et al., 2020). Pada proyek fasilitas pendidikan, pendekatan ini relevan karena kampus dapat berfungsi sekaligus sebagai aset fisik jangka panjang, lingkungan belajar, dan contoh praktik keberlanjutan. Penelitian lanjutan dapat menguji keterkaitan antara nilai lokal, budaya organisasi, perilaku pekerja, dan indikator lingkungan kuantitatif agar konsep green construction pada proyek pendidikan di Bali memiliki basis empiris yang lebih komprehensif.

PENUTUP

Simpulan

Tingkat penerapan green construction pada Proyek Pembangunan Universitas Triatma Mulya Internasional memperoleh nilai rata-rata 4,18 dari skala 5 atau indeks 83,6%, sehingga termasuk kategori tinggi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa prinsip pengelolaan sumber daya, pengendalian lingkungan, keselamatan, dan manajemen proyek telah diintegrasikan dengan baik pada tahap pelaksanaan.

Indikator dengan kinerja tertinggi adalah Keselamatan dan Kesehatan Kerja (4,46; 89,2%), diikuti pengelolaan limbah konstruksi (4,31; 86,2%) dan manajemen lingkungan proyek (4,21; 84,2%), yang seluruhnya termasuk kategori sangat tinggi. Sebaliknya, efisiensi penggunaan air memperoleh skor terendah (3,96; 79,2%), diikuti efisiensi energi (4,05; 81,0%) dan pengendalian polusi/dampak lingkungan (4,12; 82,4%). Posisi relatif ini menunjukkan bahwa peningkatan green construction sebaiknya difokuskan pada konservasi sumber daya dan penguatan pemantauan lingkungan yang terukur.

Secara keseluruhan, kekuatan utama proyek berada pada sistem pengendalian yang telah menjadi rutinitas manajemen, sedangkan peluang peningkatan berada pada praktik yang memerlukan data konsumsi dan indikator kinerja kuantitatif. Dengan demikian, keberlanjutan penerapan green

construction perlu diarahkan dari sekadar kepatuhan terhadap praktik menuju sistem manajemen kinerja lingkungan berbasis target dan bukti.

Saran

Manajemen proyek disarankan menetapkan program peningkatan bertahap pada efisiensi air dan energi melalui pencatatan konsumsi, inspeksi kebocoran, pemanfaatan kembali air untuk kebutuhan nonpotabel yang sesuai, penggunaan peralatan hemat energi, serta target pengurangan konsumsi. Pengendalian polusi juga perlu diperkuat dengan jadwal inspeksi, dokumentasi tindakan korektif, dan indikator keluhan lingkungan.

Untuk kepentingan akademik, penelitian lanjutan perlu melibatkan beberapa proyek gedung pendidikan atau jenis bangunan lain, menambahkan data objektif konsumsi sumber daya dan timbulan limbah, serta menguji hubungan antara komitmen manajemen, kapabilitas kontraktor, dan kinerja green construction. Pendekatan tersebut akan meningkatkan validitas eksternal dan memperkuat dasar rekomendasi kebijakan serta praktik konstruksi berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adistianti, N., & Sucita, I. K. (2020). Penerapan konstruksi hijau pada proyek Apartemen X di Jakarta Pusat. *Construction and Material Journal*, 2(2), 91–98. <https://doi.org/10.32722/cmj.v2i2.3089>
- Agnes, M., & Koestoer, R. H. (2021). A review on sustainable construction regulations in Asian countries: Savvy insights for Indonesia. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(2), 459–464. <https://doi.org/10.14710/jil.19.2.459-464>
- Benachio, G. L. F., Freitas, M. C. D., & Tavares, S. F. (2020). Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121046. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046>
- Chen, L., Huang, L., Hua, J., Chen, Z., Wei, L., Osman, A. I., Fawzy, S., Rooney, D. W., Dong, L., & Yap, P. S. (2023). Green construction for low-carbon cities: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(3), 1627–1657. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01544-4>
- Ershadi, M., & Goodarzi, F. (2021). Core capabilities for achieving sustainable construction project management. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 1396–1410. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.08.020>
- Fathalizadeh, A., Hosseini, M. R., Silvius, A. J. G., Rahimian, A., Martek, I., & Edwards, D. J. (2021). Barriers impeding sustainable project management: A social network analysis of the Iranian construction sector. *Journal of Cleaner Production*, 318, 128405. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128405>
- Francis, A., & Thomas, A. (2020). Exploring the relationship between lean construction and environmental sustainability: A review of existing literature to decipher broader dimensions. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119913. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119913>
- Ghaffar, S. H., Burman, M., & Braimah, N. (2020). Pathways to circular construction: An integrated management of construction and demolition waste for resource recovery. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118710>
- Goh, C. S., Chong, H. Y., Jack, L., & Faris, A. F. M. (2020). Revisiting triple bottom line within the context of sustainable construction: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119884. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119884>
- Gu, J., Guo, F., Peng, X., & Wang, B. (2023). Green and sustainable construction industry: A systematic literature review of the contractor's green construction capability. *Buildings*, 13(2), 470. <https://doi.org/10.3390/buildings13020470>
- Hinze, J., Godfrey, R., & Sullivan, J. (2013). Integration of construction worker safety and health in assessment of sustainable construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(6), 594–600. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000651](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000651)
- Karakhan, A. A., & Gambatese, J. A. (2017). Integrating worker health and safety into sustainable design and construction: Designer and constructor perspectives. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(9), 04017069. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001379](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001379)

- Kiani Mavi, R., Gengatharen, D., Kiani Mavi, N., Hughes, R., Campbell, A., & Yates, R. (2021). Sustainability in construction projects: A systematic literature review. *Sustainability*, 13(4), 1932. <https://doi.org/10.3390/su13041932>
- Kurniawan, I., & Husin, A. E. (2023). Analisis faktor-faktor yang berpengaruh dalam implementasi konsep green untuk peningkatan kinerja biaya menggunakan Structural Equation Modelling-Partial Least Square (SEM-PLS). *TEKNIK*, 44(1), 57–69. <https://doi.org/10.14710/teknik.v44i1.49522>
- Lima, L., Trindade, E., Alencar, L., Alencar, M., & Silva, L. (2021). Sustainability in the construction industry: A systematic review of the literature. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125730. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125730>
- Luo, K., Scofield, J. H., & Qiu, Y. (2021). Water savings of LEED-certified buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, 175, 105856. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105856>
- Luo, W., Sandanayake, M., Hou, L., Tan, Y., & Zhang, G. (2022). A systematic review of green construction research using scientometrics methods. *Journal of Cleaner Production*, 366, 132710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132710>
- Mahinkanda, M. M. M. P., Ochoa Paniagua, J. J., Rameezdeen, R., Chileshe, N., & Gu, N. (2023). Design decision-making for construction waste minimisation: A systematic literature review. *Buildings*, 13(11), 2763. <https://doi.org/10.3390/buildings13112763>
- Moshood, T. D., Rotimi, J. O. B., & Shahzad, W. (2025). Enhancing sustainability considerations in construction industry projects. *Environment, Development and Sustainability*, 27(12), 29287–29313. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04946-2>
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021a). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 9 Tahun 2021 tentang Pedoman Penyelenggaraan Konstruksi Berkelanjutan.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021b). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2021 tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau.
- Praganingrum, T. I., Pradnyadari, N. L. M. A. M., Suryatmaja, I. B., Suryadarmawan, I. G. A. G., Saraswati, N. N. I. S., & Utama, P. A. R. (2023). Identifikasi penerapan green construction pada proyek konstruksi. *Jurnal Permukiman*, 18(1), 45–52. <https://doi.org/10.31815/jp.2023.18.45-52>
- Prasetyawan, S., Machfudiyanto, R. A., & Rachmawati, T. S. N. (2023). Incentives and barriers to green building implementation: The case of Jakarta. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 9(3), 287–302. <https://doi.org/10.22146/jcef.7150>
- Setiawan, H., Ervianto, W. I., & Han, A. L. (2019). Green Construction Capability Model (GCCM) for contracting companies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 290, 012159. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/290/1/012159>
- Sri Kristinayanti, W., Zaika, Y., Padma Devia, Y., Solimun, & Agung Wibowo, M. (2024). Green construction and local wisdom integration for sustainability: A systematic literature review. *Civil Engineering Journal*, 10(11), 3779–3802. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-11-020>
- Stanitsas, M., Kirytopoulos, K., & Leopoulos, V. (2021). Integrating sustainability indicators into project management: The case of construction industry. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123774. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123774>
- Sudiartha, K. E., Nadiasa, M., & Jaya, I. N. M. (2015). Kajian faktor-faktor green construction pada proyek konstruksi gedung di Kabupaten Badung. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 19(2), 148–155.
- Vaghefi-Rezaee, H. A., Sarvari, H., Khademi-Adel, S., Edwards, D. J., & Roberts, C. J. (2024). A scientometric review and analysis of studies on the barriers and challenges of sustainable construction. *Buildings*, 14(11), 3432. <https://doi.org/10.3390/buildings14113432>
- Venkataraman, V., & Cheng, J. C. P. (2018). Critical success and failure factors for managing green building projects. *Journal of Architectural Engineering*, 24(4), 04018025. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000327](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000327)
- Willar, D., & Trigunarsyah, B. (2021). Hambatan penerapan konstruksi berkelanjutan: Perspektif pemerintah. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 27(1), 18–28. <https://doi.org/10.14710/mkts.v27i1.33764>