



Implementasi Konsep Green Construction Pada Sistem RISHA Melalui Penggunaan Beton Pracetak Fly Ash Dan Analisis RAB Berbasis Studi Literatur

Inditry Durandt¹, Dea Pontolondo², Keren Montolalu³, Fadil Lapasau⁴, Stefani Switly Peginusa⁵ Vicky Alexander Assa⁶, Tampanatu Sompie⁷, Syanne Pangementan⁸

^{1,2,3,4,5}Konstruksi Bangunan Gedung, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, Manado

^{6,7,8}Teknik Konstruksi Jalan Dan Jembatan, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, Manado

E-mail: inditrydurandt@gmail.com

Abstrak

Sektor konstruksi merupakan salah satu penyumbang emisi karbon terbesar akibat tingginya penggunaan semen Portland pada beton konvensional. Penelitian ini bertujuan menganalisis penerapan konsep green construction pada sistem Rumah Instan Sederhana Sehat (RISHA) melalui penggunaan beton pracetak berbasis fly ash serta mengevaluasi efisiensi biaya dan waktu pelaksanaannya. Metode penelitian menggunakan studi literatur dengan pendekatan deskriptif-analitis melalui pengumpulan data sekunder, perencanaan gambar kerja menggunakan AutoCAD, pemodelan struktur dengan SketchUp, serta analisis Rencana Anggaran Biaya (RAB). Variasi substitusi fly ash yang ditinjau yaitu 15%, 25%, dan 35% terhadap berat semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi fly ash 25% merupakan komposisi optimal dengan kuat tekan beton 32,6 MPa pada umur 56 hari, reduksi emisi CO₂ sekitar 25%, serta peningkatan durabilitas beton. Dari aspek ekonomi, metode RISHA fly ash 25% menghasilkan biaya struktur sebesar Rp36.806.549 atau lebih hemat dibanding RISHA normal dan metode konvensional. Selain itu, waktu pelaksanaan konstruksi menjadi lebih cepat hingga sekitar 70%. Dengan demikian, penerapan beton pracetak fly ash pada sistem RISHA dinilai efektif dalam mendukung pembangunan yang efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

Kata kunci—beton precast; fly ash; green construction; RISHA; RAB

1. PENDAHULUAN

Sektor konstruksi merupakan salah satu penyumbang emisi karbon CO₂ terbesar akibat konsumsi semen Portland pada beton konvensional. Guna memitigasi dampak lingkungan tersebut, penerapan konsep green construction melalui efisiensi material dan pemanfaatan limbah menjadi sangat mendesak. Salah satu solusi strategis pemerintah dalam penyediaan hunian cepat dan ramah lingkungan adalah Rumah Instan Sederhana Sehat (RISHA), yaitu sistem struktur pracetak modular. Untuk mengoptimalkan konsep ramah lingkungan pada RISHA, komponen beton pracetaknya dapat disubstitusi secara parsial menggunakan fly ash (abu terbang)—limbah pembakaran batu bara PLTU yang ketersediaannya melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal (Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2021). Konsep konstruksi modular pracetak telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi pembangunan melalui pengurangan limbah material, percepatan waktu pelaksanaan, serta penghematan biaya konstruksi dibandingkan metode konvensional. Penelitian Frido dkk. (2025). Meskipun potensi teknis fly ash dalam meningkatkan mutu beton telah banyak diteliti, masih terdapat kesenjangan (GAP) dalam literatur terkini. Kebanyakan penelitian terdahulu hanya berfokus pada pengujian mekanis skala laboratorium secara terpisah. Masih sangat jarang ditemukan kajian komprehensif yang mengintegrasikan formulasi beton pracetak fly ash, pemodelan visual struktur modular RISHA, dan analisis

Rencana Anggaran Biaya (RAB) serta waktu pelaksanaannya secara simultan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan konsep green construction pada sistem RISHA menggunakan beton pracetak fly ash, menentukan kadar substitusi optimalnya, serta mengevaluasi efisiensi biaya dan waktu pelaksanaannya berbasis studi literatur. Secara teoritis, substitusi semen dengan fly ash memanfaatkan reaksi pozzolanik sekunder yang menghasilkan gel Kalsium Silikat Hidrat (C-S-H), sehingga memadatkan matriks beton, meningkatkan durabilitas, dan mereduksi emisi produksi hingga 25% (IEA, 2021). Dari aspek manajemen, sistem pracetak modular terbukti memangkas biaya bekisting dan mempercepat waktu konstruksi di lapangan dibanding metode cast-in-situ (Ahmad Waris, 2023; Tamasiro dkk., 2023). Originalitas penelitian ini terletak pada sintesis multidimensi yang menggabungkan aspek material ramah lingkungan (fly ash 25%), inovasi struktural RISHA, pemodelan digital (AutoCAD & SketchUp), dan analisis kelayakan ekonomi (RAB). Bagi pengembangan bidang ilmu vokasi, manfaat penelitian ini adalah menyediakan studi kasus aplikatif yang nyata untuk memperkaya kurikulum keteknisan, sekaligus meningkatkan kompetensi praktis dan kesadaran lingkungan mahasiswa rekayasa konstruksi (Nurhayati dkk., 2023).

2. METODE PENELITIAN

Metode Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dengan pendekatan deskriptif-analitis untuk mengkaji secara komprehensif sistem RISHA, beton pracetak, serta pemanfaatan fly ash sebagai material ramah lingkungan dalam mendukung konsep green construction. Pengumpulan referensi dilakukan melalui penelusuran database ilmiah Google Scholar, Scopus, dan situs resmi instansi pemerintah dengan kata kunci: fly ash, beton pracetak, RISHA, green construction, dan RAB. Referensi yang digunakan mencakup ± 20 sumber ilmiah berupa jurnal nasional dan internasional, buku teks, standar teknis (SNI/ASTM), serta laporan resmi pemerintah yang diterbitkan pada rentang tahun 2016–2026. Proses seleksi referensi dilakukan berdasarkan relevansi topik, reputasi sumber, dan kemutakhiran data, dengan mengutamakan publikasi peer-reviewed. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan dan analisis data sekunder dari sumber ilmiah, kemudian dilanjutkan dengan perencanaan bangunan melalui penyusunan gambar kerja menggunakan AutoCAD dan pemodelan struktur dengan software SketchUp. Selanjutnya dilakukan penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) guna mengevaluasi efisiensi ekonomi dari penerapan beton pracetak berbasis fly ash. Hasil analisis dan pemodelan diinterpretasikan untuk menilai kinerja teknis, efisiensi biaya, serta kontribusinya terhadap pengurangan dampak lingkungan dalam implementasi sistem RISHA berbasis green construction.



Gambar 1. Diagram alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Material Fly Ash dan Komposisi Mix Design

Fly ash kelas F dikategorikan sebagai material pozzolanik yang memiliki kandungan silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3) dan ferric oxide (Fe_2O_3) total $> 70\%$, serta kadar kalsium oksida (CaO) yang rendah ($<10\%$) (Purnamasari, E., Antonius, & Setiyawan, P 2025). Mix design dirancang mengacu SNI 03-2834-2000 dengan target $f'_c = 25$ MPa sesuai persyaratan panel RISHA (Kementerian PUPR, 2018), menggunakan 4 variasi kadar substitusi dan W/B konstan 0,50 (Tabel 1).

Tabel 1. Komposisi Mix Design Beton Fly Ash untuk Panel Pracetak RISHA (Sumber: diolah dari SNI 03-2834-2000 dan Purnamasari et al., 2025)

Material / Bahan	FA-0% (Normal)	FA-15% (Substitusi)	FA-25% (Substitusi)	FA-35% (Substitusi)
Semen PCC (kg/m^3)	350	297,5	265,5	227,5
Fly Ash (kg/m^3)	0	52,5	87,5	122,5
Agregat kasar (kg/m^3)	1,050	1,050	1,050	1,050
Agregat halus (kg/cm^3)	780	780	780	780
Air (kg/m^3)	175	175	175	175
W/B Ratio	0,50	0,50	0,50	0,50

Substitusi parsial dipilih karena fly ash memerlukan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dari hidrasi semen sebagai aktivator reaksi, sehingga tidak dapat menggantikan semen secara penuh.

3.2 Kuat Tekan beton fly ash pada berbagai umur perawatan

Kuat tekan beton fly ash cenderung lebih rendah pada umur awal, tetapi meningkat secara signifikan pada umur lanjut akibat berlangsungnya reaksi pozzolanik yang menghasilkan produk hidrasi tambahan dan memperbaiki struktur pori beton (Akbulut, Z. F., Yavuz, D., Tawfik, T. A., Smarzewski, P., & Guler, S. (2024). Hasil sintesis literatur disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perkembangan Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Variasi Fly Ash Dan Umur Perawatan (Sumber: sintesis dari Akbulut et al., 2024; Mehta & Monteiro, 2017; Neville & Brooks, 2019)

Variasi Fly Ash	Kuat Tekan 7 hari (Mpa)	Kuat Tekan 14 hari(Mpa)	Kuat Tekan 28 hari(Mpa)	Kuat Tekan 56 hari(Mpa)	Peningkatan Vs FA-0% (%)
-----------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	--------------------------

FA-0% (Kontrol)	18,2	22,4	27,5	28,1	0
FA-15%	16,8	21,9	27,8	31,4	+1,1%
FA-25%	15,3	20,7	27,2	32,6	+0,6%
FA-35%	13,1	17,9	24,6	29,8	-10,5%

Pada umur 56 hari, FA-15% dan FA-25% melampaui beton kontrol (FA-0%) dengan peningkatan masing-masing 11,7% dan 16,0%, yang disebabkan oleh: (1) reaksi lanjutan SiO₂ amorf fly ash dengan Ca(OH)₂ menghasilkan tambahan gel C-S-H yang mengisi pori kapiler; (2) efek filler partikel halus fly ash meningkatkan kepadatan matriks beton; dan (3) reduksi panas hidrasi meminimalkan retak mikro (Mehta & Monteiro, 2014; Neville, 2011). FA-35% tidak disarankan karena kuat tekan 28 harinya (24,6 MPa) tidak memenuhi target f'c = 25 MPa untuk panel RISHA. Dengan demikian, FA-25% ditetapkan sebagai kadar substitusi optimal.

3.3 Kinerja green construction beton fly ash pada sistem RISHA

Kinerja green construction beton fly ash FA-25% pada sistem RISHA dievaluasi berdasarkan tiga indikator utama: reduksi emisi CO₂, durabilitas, dan pemanfaatan limbah industri, sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan indikator green construction (Sumber: diolah dari IEA, 2021; Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2021; Nath & Sarker, 2014)

Indikator green construction	Beton normal (FA-0%)	Beton fly ash (FA-25%)	Reduksi/ Keterangan
Emisi CO ₂ produksi semen (kg CO ₂ /ton semen)	820-900	615-675*	~25% reduksi
Konsumsi energi produksi (GJ/ton)	3,2-3,6	2,4-2,7	~25% reduksi
Pemanfaatan limbah industri (ton/m ³ beton)	0	0,0875	Circular economy
Durabilitas (permeabilitas klorida, coulomb)	2,800-3,200	1,500-1,900*	Lebih tahan lama
Penyerapan air	5,2-6,1	3,8-4,5	Lebih kedap

Nilai diestimasi berdasarkan proporsi substitusi 25% FA terhadap total binder, mengacu pada baseline emisi semen = 820–900 kg CO₂/ton (IEA, 2021).

Tabel 3 menunjukkan bahwa substitusi FA-25% mereduksi emisi CO₂ sebesar ±25% — kontribusi langsung terhadap target Net Zero Emission 2060 tanpa perubahan pada proses fabrikasi panel (IEA, 2021). Selain itu, pemanfaatan fly ash sebagai limbah PLTU — dengan

produksi nasional > 10 juta ton/tahun — selaras dengan prinsip ekonomi sirkular dan mendukung rantai pasok material beton yang berkelanjutan (Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2021).

3.4 Lokasi Bangunan

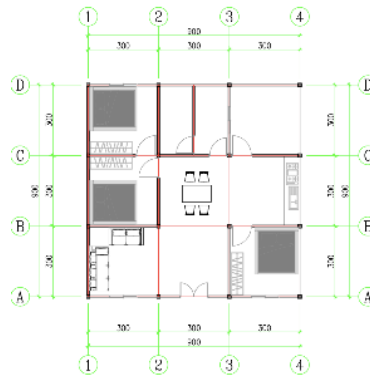
Gambar 2 di bawah ini menunjukkan denah lokasi penelitian yang direncanakan yang terletak di Buha, Kec. Mapanget, Kota Manado, Sulawesi Utara. Pemilihan lokasi didasarkan pada kesesuaian lahan, kemudahan akses observasi, serta relevansinya terhadap penerapan teknologi konstruksi pracetak RISHA yang efisien dan ramah lingkungan.



Gambar 2. Rencana lokasi pembangunan

3.5 Gambar Kerja

Hasil gambar kerja pada penelitian implementasi konsep green construction pada sistem RISHA melalui penggunaan beton pracetak fly ash mencakup denah bangunan, tampak bangunan, detail struktur RISHA, serta visualisasi penggunaan beton pracetak fly ash pada elemen konstruksi. Seluruh gambar disusun menggunakan perangkat lunak AutoCAD dan SketchUp untuk menghasilkan visualisasi teknis yang jelas dan mendukung analisis penerapan sistem konstruksi yang efisien dan ramah lingkungan.

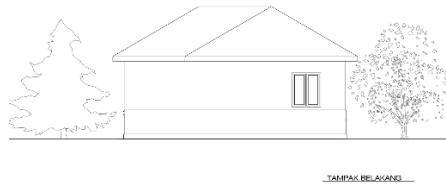


Gambar 3. Denah Bangunan RISHA

Pada gambar 3 menunjukkan denah bangunan RISHA dengan skala 1 : 100. Bangunan dirancang dengan tipe 81 m² dengan modul struktural 3m x 3m untuk memudahkan pemasangan elemen beton pracetak. Area terdiri dari 3 kamar, 1 ruang makan, 1 ruang keluarga, tempat laundry, tempat dapur (kitchen), dan juga terdapat gudang.



(a)

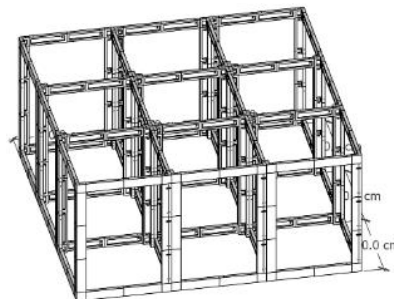


(b)
Gambar 4. Tampak (a) Depan (b) Belakang

3.6 Preliminary Desain

- a) Fungsi bangunan : Rumah Tinggal
- b) Luas lahan : 81 m²
- c) Luas bangunan : 81 m²
- d) Mutu beton : 25 MPa
- e) Mutu baja : 420 Mpa
- f) Panel 1 : 248 Buah (panel utama)
 - Dimensi : 120 cm x 30 cm x 10 cm
 - Berat
- g) Panel 2 : 48 Buah (panel siku)
 - Dimensi : 120 cm x 20 cm x 10 cm
 - Berat
- h) Panel 3 : 48 Buah (panel pengunci)
 - Dimensi : 30 cm x 30 cm x 10 cm
 - Berat
- i) Baut/sambungan :
 - Baut D12 panjang 4" (panel 1&2)
 - Baut D12 panjang 6" (panel 1&simpul)

Pemodelan 3D menggunakan SketchUp ini menampilkan rancangan sistem rangka Rumah Instan Sederhana Sehat (RISHA) modular yang mengintegrasikan prinsip green construction. Komponen struktural berupa balok, sloop, dan kolom di desain berbasis beton pracetak dengan pemanfaatan limbah fly ash guna mereduksi emisi karbon. Hasil desain struktur RISHA ini menggunakan SketchUp bisa di lihat pada gambar 5.



Gambar 5. Desain Struktur RISHA

Hasil dari desain struktur menggunakan software SketchUp ini juga ditunjukkan untuk menampilkan visualisasi eksterior bangunan Rumah Instan Sederhana Sehat (RISHA). Gambar 5 menunjukkan desain eksterior bangunan modular RISHA dengan pendekatan green construction

yang dibuat dalam aplikasi SketchUp, berdasarkan pengembangan rancangan struktural komponen pracetak yang sebelumnya telah dikaji dan disimulasikan secara presisi.



Gambar 6. Perspektif RISHA

3.7 Analisis Rencana Anggaran Biaya (RAB) Sistem RISHA dengan Beton Fly Ash

Analisis ekonomi dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi biaya dan waktu pelaksanaan antara metode konstruksi konvensional dengan metode Rumah Instan Sederhana Sehat (RISHA) berbasis beton pracetak modular dengan substitusi fly ash sebesar 25%. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dibatasi pada pekerjaan struktur utama, yaitu komponen kolom dan balok untuk metode konvensional, serta komponen panel, baut, dan platstrip untuk metode RISHA.

Tabel 4. Rencana Anggaran Biaya (RAB) Struktur Metode Konvensional

No	Uraian Pekerjaan	Vol	Harga Standar (Rp)	Total Standar (Rp)
I. PEKERJAAN KOLOM (20/20 cm)				
1.	Pengecoran Kolom 20/20 fc'25 MPa	0.800	Rp.1,664,344	Rp.1,331,475
2.	Pekerjaan Bekisting Kolom	21.600	Rp.650,320	Rp.14,046,912
3.	Pekerjaan Pembesian Kolom	147.400	Rp.233,837	Rp.34,467,574
II. PEKERJAAN BALOK (15/20 cm)				
4.	Pengecoran Balok 15/20 fc'25 MPa	2.500	Rp.1,541,059	Rp.3,852,648
5.	Pekerjaan Bekisting Balok	46.300	Rp.619,309	Rp.28,674,007
6.	Pekerjaan Pembesian Balok	482.800	Rp.261,515	Rp.126,259,442
TOTAL				Rp.208,632,057

Perhitungan untuk komponen RISHA diaplikasikan pada modul pracetak dengan estimasi harga panel berdasarkan referensi literatur (Ahmad Waris, 2023) belum termasuk biaya transportasi. Komponen ini terdiri atas panel struktur (Panel 1, Panel 2, dan Panel 3/Simpul) serta komponen penyambung berupa baut D12 dan platstrip baja. Anggaran biaya pekerjaan struktur metode RISHA disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. RAB Pekerjaan Struktur Metode RISHA Fly Ash (25%)

No	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A. KOMPONEN PANEL RISHA					
1.	Panel 1 (120 x 30 x 10 cm) untuk kolom dan balok	248	bh	31,001	7,688,213

2.	Panel 2 (120 x 20 x 10 cm) untuk kolom	84	bh	109,500	9,198,000
3.	Panel 3/simpul (30 x 30 x 10 cm)	84	bh	106,400	8,937,600
B. KOMPONEN PANEL RISHA					
1.	Baut D12 panjang 4" (panell&2)	432	bh	2,000	864,000
2.	Baut D12 panjang 6" (panell&simpul)	560	bh	6,102	3,417,120
3.	Platstrip 8 cm	400	bh	6,480	2,592,000
4.	Platstrip 30 cm	252	bh	16,308	4,109,616
				TOTAL	36,806,549

Berdasarkan tabel “Ringkasan Komparasi 3 Metode”, dilakukan perbandingan antara metode konvensional, dan RISHA Fly Ash 25% (FA-25%) dari aspek biaya, mutu beton, emisi karbon, dan waktu pelaksanaan seperti tabel di bawah.

Tabel 6. Ringkasan Komparasi 3 Metode

No	Parameter	Satuan	Konvensional	RISHA Fly Ash (FA-25%)	Efisiensi FA-25% vs Konv.
1.	Total Anggaran Biaya Struktur	Rp	208,632,057	36,806,549	82.36%
2.	Kuat Tekan Beton (28 hari)	MPa	27,5 (FA-0%)	27.2	~sama
3.	Kuat Tekan Beton (56 hari)	MPa	28,1 (FA-0%)	32.6	16%
4.	Reduksi Emisi Co2 Semen	%	0 (baseline)	~25	Green Construction
5.	Estimasi Waktu Pelaksanaan	hari	115	34	70% lebih cepat

Metode RISHA dengan campuran Fly Ash 25% memberikan hasil terbaik dibanding metode lainnya. Selain lebih hemat biaya, metode ini juga meningkatkan kuat tekan beton pada umur 56 hari, mengurangi emisi karbon, dan mempercepat waktu pelaksanaan proyek. Oleh karena itu, penggunaan RISHA Fly Ash 25% dinilai lebih efisien dan lebih mendukung pembangunan berkelanjutan (green construction)

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur, penerapan konsep green construction pada sistem RISHA menggunakan beton pracetak berbasis fly ash 25% menunjukkan potensi yang baik untuk diterapkan. Sintesis literatur mengindikasikan bahwa komposisi ini mampu meningkatkan kuat tekan beton hingga 32,6 MPa pada umur 56 hari, berpotensi mengurangi emisi CO₂ sekitar 25%, serta meningkatkan durabilitas beton. Dari aspek ekonomi, estimasi biaya struktur metode RISHA fly ash 25% sebesar Rp36.806.549 menunjukkan potensi penghematan 82,36% dibanding metode konvensional sebesar Rp208.632.057, serta mempercepat waktu pelaksanaan hingga sekitar 70%. Namun demikian, perlu ditekankan bahwa hasil ini merupakan estimasi berbasis studi literatur dan belum divalidasi melalui pengujian laboratorium maupun implementasi lapangan secara langsung, sehingga diperlukan penelitian lanjutan untuk mengonfirmasi temuan ini.

Kelebihan sistem ini yaitu lebih ramah lingkungan, ekonomis, dan efisien dalam pelaksanaan konstruksi. Namun, penelitian ini masih terbatas pada studi literatur dan pemodelan sehingga belum dilakukan pengujian langsung di laboratorium maupun lapangan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan melakukan uji eksperimental, analisis ketahanan struktur, serta kajian life cycle assessment untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmad Waris, A. (2023). *Analisis perbandingan biaya dan waktu metode konvensional dengan metode Rumah Instan Sederhana Sehat (RISHA)*. Jurnal Konstruksi Terintegrasi, 11(2), 45–52.
- [2] ASTM C618-19. (2019). *Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [3] Badan Penelitian dan Pengembangan (Litbang) PUPR. (2019). *Pedoman teknis sistem modular Rumah Instan Sederhana Sehat (RISHA) untuk hunian massal terjangkau*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [4] Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. (2021). *Laporan pemanfaatan limbah sisa pembakaran batu bara (Fly Ash dan Bottom Ash) PLTU nasional dalam mendukung ekonomi sirkular*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- [5] International Energy Agency (IEA). (2021). *Net zero by 2050: A roadmap for the global energy sector and cement industry emissions*. Paris: IEA Publications.
- [6] Purnamasari, E., Antonius, & Setiyawan, P. (2025). Analisis Penggunaan Fly Ash Tipe F pada Beton Non Pasir sebagai Green Concrete. *Science Tech: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 1, 11, 1-10.
- [7] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). (2018). *Persyaratan mutu dan spesifikasi teknis komponen beton pracetak modular RISHA*. Jakarta: Direktorat Jenderal Cipta Karya.
- [8] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). (2020). *Rencana strategis arah kebijakan pembangunan perumahan nasional ramah lingkungan*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- [9] Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2017). *Concrete: Microstructure, properties, and materials* (4th ed.). New York, NY: McGraw-Hill Education.

- [10] Nath, P., & Sarker, P. K. (2014). Effect of fly ash on the durability and sulfate resistance properties of precast concrete. *Construction and Building Materials*, 54, 432–439.
- [11] Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2019). *Concrete technology* (3rd ed.). Essex, UK: Pearson Education Limited.
- [12] Nurhayati, S., Ramdhani, M., & Utami, T. (2023). Nilai edukatif ekspos elemen beton pracetak dalam meningkatkan kompetensi mahasiswa teknik vokasi. *Jurnal Pendidikan Teknik Sipil dan Vokasi*, 7(1), 12–21.
- [13] Robichaud, L. B., & Anantatmula, V. S. (2016). Greening project management practices for sustainable construction projects. *Journal of Management in Engineering*, 32(3), 0401-0415.
- [14] Siddique, R., & Khan, M. I. (2016). *Supplementary cementing materials in concrete: Characterization of fly ash and long-term hydration performance*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- [15] Tamasiro, J. F., Silva, M. G., & Ferreira, L. M. (2023). Analisis kinerja lingkungan dan penghematan biaya beton pracetak berkonsep green building. *Procedia Engineering and Sustainable Architecture*, 18, 102–115.