Prosiding Seminar Nasional Produk Terapan Unggulan Vokasi (PTUV) Ke-6 Politeknik Negeri Manado
Juni 2026
E-ISSN: 2961-7790

Implementasi Beton Pracetak pada Gedung Sekolah Berbasis Smart Building dengan Konsep Penggunaan Sensor Terintegrasi Panel Surya untuk Efisiensi Energi Keberlanjutan

Bradonly Lae[1], Meylani Salenda[2], Imelda Soyawan[3], Grasiella Rarung[4], Stefani S. Peginusa[5], Tampanatu P. F. Sompie[6], Dewi Astuti Baco[7]
[1,2,3,4,5]Konstruksi Bangunan Gedung, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, Manado
[6]Teknik Jalan Jembatan, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, Manado
[7]D3 Teknik Sipil, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, Manado

E-mail: bradonlilae@gmail.com

Abstrak

Pembangunan gedung sekolah yang efisien dan mandiri energi menjadi tantangan strategis di Indonesia. Penelitian ini mengkaji implementasi beton pracetak terintegrasi sistem smart building berbasis empat sensor yaitu PIR, lux meter, sensor suhu dan kelembaban, serta smart meter yang terhubung ke panel surya fotovoltaik 5 kWp pada gedung sekolah dua lantai di Kota Manado. Metode deskriptif-komparatif digunakan melalui perancangan AutoCAD dan perhitungan RAB berdasarkan SNI 7832:2017 dan AHSP Kota Manado. Hasil menunjukkan total biaya metode pracetak Rp 827.784.000 lebih efisien dibanding konvensional Rp 890.264.000 dengan penghematan 7,01%. Panel surya mampu memproduksi 22,5–27,5 kWh per hari dan menghemat energi listrik 30–40% per tahun dengan payback period 8–10 tahun. Pendekatan ini diproyeksikan menjadi solusi strategis untuk mewujudkan gedung sekolah hemat biaya, efisien energi, dan berkontribusi pada SDGs 4, 7, 11, dan 13.

Kata kunci : beton precast, efisiensi energi, gedung sekolah, panel surya, smart building

1. PENDAHULUAN

Pembangunan gedung sekolah yang efisien dan adaptif terhadap teknologi merupakan kebutuhan strategis dalam mendukung pendidikan berkelanjutan di Indonesia. Dua pendekatan yang relevan adalah beton pracetak sebagai sistem konstruksi modern dan smart building berbasis sensor terintegrasi panel surya sebagai solusi efisiensi energi. Beton pracetak diproduksi dengan kendali mutu ketat di luar lokasi proyek sehingga menghasilkan efisiensi waktu hingga 40% dan penghematan biaya 15–25% dibanding metode konvensional (Elliott, 2017; Li et al., 2018). Penerapan teknologi beton pracetak juga telah diimplementasikan pada bangunan fasilitas kampus di Politeknik Negeri Manado, yang menunjukkan efisiensi waktu pelaksanaan dan peningkatan mutu konstruksi dibandingkan metode konvensional (Pelealu et al., 2025). Smart building merespons secara dinamis kondisi internal dan eksternal melalui arsitektur IoT untuk memaksimalkan efisiensi energi (Buckman et al., 2014; Atzori et al., 2010). Panel surya sangat relevan di Indonesia dengan iradiasi matahari rata-rata 4,5–5,5 kWh/m²/hari dan mampu memenuhi 60–80% kebutuhan energi gedung sekolah di wilayah tropis (IRENA, 2022; Sampaio & González, 2017). Penelitian terdahulu menunjukkan sistem BMS berbasis IoT mampu

menurunkan konsumsi energi secara signifikan (Kim & Lee, 2020) dan integrasi sensor occupancy dengan panel surya terbukti efisien dalam penghematan energi pada bangunan pendidikan (Rizky & Saputra, 2023). Namun kajian yang memadukan ketiga aspek tersebut secara komprehensif masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja beton pracetak, merancang sistem sensor terintegrasi, dan mengevaluasi efisiensi energi jangka panjang sebagai model referensi bagi pendidikan vokasi di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

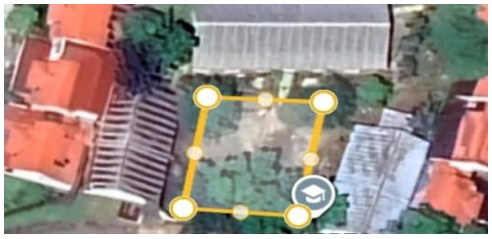
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif-komparatif, yaitu membandingkan metode konstruksi beton konvensional dan beton pracetak yang diintegrasikan dengan sistem smart building berbasis sensor dan panel surya pada gedung sekolah dua lantai di Kota Manado. Implementasi penelitian dilakukan melalui tiga tahap. Pertama, perancangan gedung sekolah dua lantai menggunakan AutoCAD mengacu pada SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019, menghasilkan gambar kerja denah, dan tampak. Namun perlu dicatat bahwa penelitian ini tidak mencakup Analisa struktur secara lengkap (Seperti perhitungan pembebanan, momen, gaya geser, maupun desain penampang elemen pracetak) sehingga pemenuhan persyaratan teknis structural belum dapat diverifikasi sepenuhnya. Kedua, implementasi sistem smart building dengan merancang empat sensor terintegrasi yaitu PIR untuk deteksi hunian ruang kelas, lux meter untuk pencahayaan otomatis, sensor suhu dan kelembaban untuk manajemen ventilasi, serta smart meter untuk monitoring produksi dan konsumsi energi panel surya secara real-time melalui jaringan IoT. Ketiga, perhitungan RAB menggunakan Microsoft Excel berdasarkan volume pekerjaan dari gambar AutoCAD dan harga satuan mengacu pada AHSP Kota Manado, disusun untuk kedua skenario konstruksi sehingga perbandingan biaya dapat dilakukan secara kuantitatif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian ini mencakup konsep desain bangunan sekolah dengan luas lahan 325,27 m^2 . Selain itu, penelitian ini meliputi Lokasi bangunan, denah bangunan, serta tampak depan, samping kiri, dan kanan.

3.1 Denah Lokasi

Memperlihatkan lokasi yang akan direncanakan pembangunan sekolah dan gambar berada di Kairagi dua, Mapanget, Manado, Sulawesi Utara.



Gambar 3.1.1 Denah Lokasi

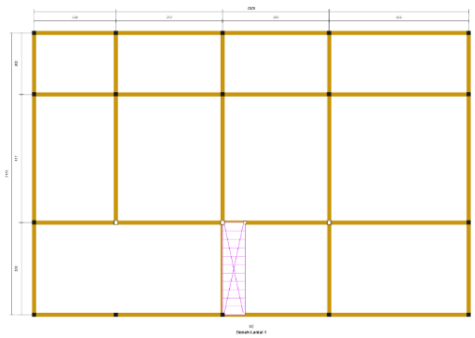
3.2 Data Perencanaan

Gedung sekolah direncanakan dengan fungsi tempat pendidikan di lahan seluas 325,27 m^2, total luas bangunan 418,72 m^2 (lantai 1 dan 2 masing-masing 209,36 m^2), tinggi per lantai 3,50 m dengan total tinggi 7,00 m. Elemen struktur terdiri dari kolom 40×40 cm, balok induk 25×50 cm,

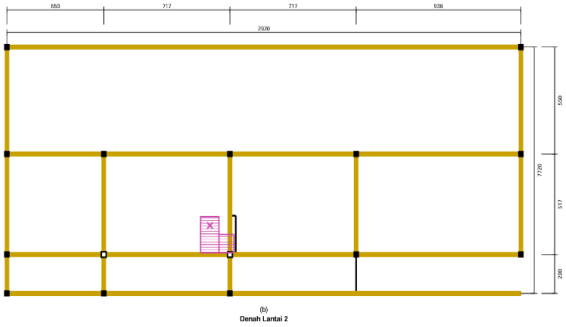
balok anak 20×40 cm, dan pelat lantai t=12 cm. Sistem energi menggunakan panel surya 5 kWp dengan estimasi penghematan energi 30–40%.

3.3 Gambar Kerja

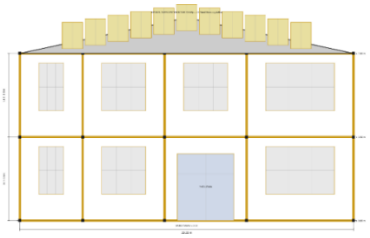
Bangunan sekolah 2 lantai dengan tinggi 7,17 m dan panjang 29,20 m. Lantai 1 terdiri atas ruang kantor, 3 ruang kelas, gudang, toilet guru dan siswa, serta koridor dan teras depan. Lantai 2 terdiri atas 2 ruang kelas, laboratorium komputer/perpustakaan, ruang tambahan, dan balkon. Atap dilengkapi panel surya fotovoltaik 5 kWp sebagai pendukung efisiensi energi.



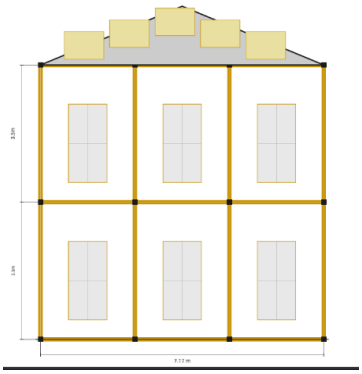
Gambar 3.3.1 Denah lantai 1



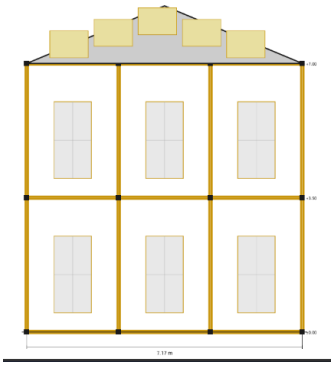
Gambar 3.3.2 Denah lantai 2



Gambar 3.3.3 Tampak depan



Gambar 3.3.4 Tampak samping kiri



Gambar 3.3.5 Tampak samping kanan

3.4 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Tabel 3.4.1 menyajikan RAB metode konvensional untuk gedung sekolah dua lantai. Pekerjaan struktur menggunakan metode cor di tempat (cast-in-situ) dengan bekisting konvensional. Total estimasi biaya metode konvensional berdasarkan AHSP Kota Manado adalah sebesar Rp 890.264.000.

Tabel 3.4.1 Metode Konvensional

No	Uraian Pekerjaan	Volume (Buah/Panel)	Harga Satuan	Jumlah
1	Kolom Beton Cor di Tempat 40x40 cm (2 lantai)	20	Rp 7.500.000	Rp 150.000.000
2	Balok Induk Beton Cor 25×50 cm (2 lantai)	18	Rp 5.000.000	Rp 90.000.000
3	Balok Anak Beton Cor 20×40 cm (2 lantai)	14	Rp 3.200.000	Rp 44.800.000
4	Pelat Lantai Beton Cor In-Situ t=12 cm (2 lantai)	418,72 m^2	Rp 1.200.000/m^2	Rp 502.464.000
5	Sistem Pencahayaan & Ventilasi Manual (2 lantai)	1 paket	Rp 18.000.000	Rp 18.000.000
6	Pekerjaan Dinding, Finishing & Atap (2 lantai)	1 paket	Rp 85.000.000	Rp 85.000.000
			Total	**Rp 890.264.000**

Tabel 3.4.2 Metode Precast

No	Uraian Pekerjaan	Volume	Harga Satuan	Jumlah
1	Kolom Pracetak 40x40 cm	20	Rp 7.000.000	Rp 140.000.000
2	Balok Induk Pracetak 25×50 cm	18	Rp 4.500.000	Rp 81.000.000
3	Balok Anak Pracetak 20×40 cm	14	Rp 3.000.000	Rp 42.000.000
4	Panel Lantai Beton Pracetak t=12 cm	418,72 m^2	Rp 950.000/m^2	Rp 397.784.000
5	Panel Surya Fotovoltaik 5 kWp	1 paket	Rp 55.000.000	Rp 55.000.000
6	Sistem Occupancy Sensor (PIR)	1 paket	Rp 12.000.000	Rp 12.000.000
7	Integrasi Smart Control/BMS	1 paket	Rp 15.000.000	Rp 15.000.000
8	Pekerjaan Dinding, Finishing & Atap	1 paket	Rp 85.000.000	Rp 85.000.000
	Total			**Rp 827.784.000**

Perhitungan mencakup elemen struktur beton pracetak seperti kolom dan balok berdasarkan volume pekerjaan serta harga satuan yang mengacu pada SNI 7832:2017 tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Beton Pracetak serta AHSP Kota Manado. Hasil perhitungan menunjukkan total biaya metode beton pracetak sebesar Rp 827.784.000, lebih efisien dibanding metode konvensional sebesar Rp 890.264.000. Penghematan tidak hanya dari sisi biaya tapi juga waktu dan kualitas. Penghematan 7,01% merupakan perbandingan total paket konstruksi termasuk sistem smart building, sedangkan penghematan struktural pracetak murni mencapai ±16%, konsisten dengan temuan Elliott (2017) sebesar 15–25%.

3.5 Desain Sistem Panel Surya Fotovoltaik

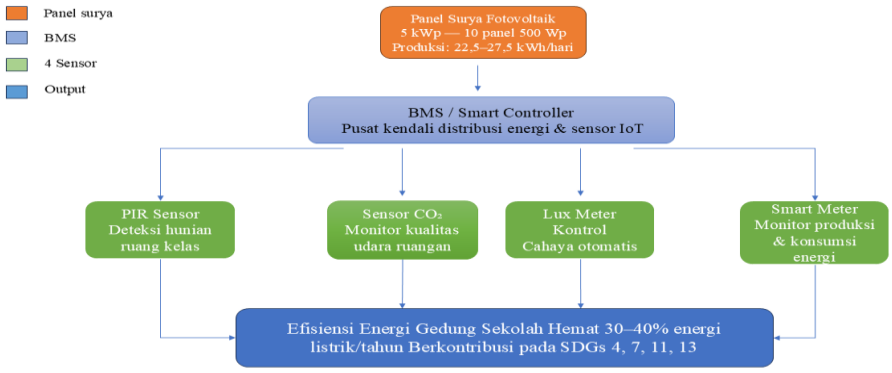
Tabel 3.5.1 Perhitungan kebutuhan dan desain sistem panel surya

No	Parameter	Nilai
1	Total luas bangunan	418,72 m^2
2	Kebutuhan energi harian	25 kWh/hari
3	Iradiasi matahari Manado	4,5-5,5 kWh/m^2/hari
4	Kapasitas sistem PLTS	5 kWp
5	Jumlah panel surya (500 Wp/panel)	10 panel
6	Luas panel per unit	2,0 m^2
7	Total luas per panel	20 m^2
8	Produksi energi per hari	22,5-27,5 kWh/hari
9	Penghematan energi per tahun	30-40%
10	Estimasi payback period	8-10 tahun

Desain sistem panel surya fotovoltaik dihitung berdasarkan kebutuhan energi harian gedung sekolah seluas 418,72 m^2 yang meliputi pencahayaan, ventilasi, dan peralatan laboratorium komputer.

3.6 Skema Integrasi Sensor Smart Building

Sistem smart building pada gedung sekolah ini dirancang dengan mengintegrasikan empat jenis sensor yang terhubung ke unit kontrol terpusat *Building Management System* (BMS) melalui jaringan *Internet of Things* (IoT). Skema integrasi sistem secara lengkap ditunjukkan pada Gambar 3.6.1.



Gambar 3.6.1 Skema integrasi sistem sensor IoT dengan panel surya fotovoltaik melalui BMS pada gedung sekolah

4. KESIMPULAN

Penggunaan beton pracetak menunjukkan hasil lebih efisien dalam waktu pelaksanaan, lebih baik dalam kualitas pekerjaan, serta lebih hemat biaya dibandingkan metode konstruksi konvensional. Total Rencana Anggaran Biaya yang dihitung berdasarkan SNI 7832:2017 dan AHSP Kota Manado mencapai Rp 827.784.000. Sistem panel surya fotovoltaik 5 kWp yang diintegrasikan dengan *occupancy* sensor berbasis PIR diproyeksikan mampu menghemat konsumsi energi listrik sebesar 30–40% per tahun dibandingkan sistem konvensional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Manado serta kepada seluruh pihak yang telah memberikan kontribusi, arahan, dan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini dari awal hingga akhir.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Atzori, L., Iera, A., and Morabito, G., (2010), *The Internet of Things: A Survey*, Computer Networks, Vol. 54, Issue: 15, pp. 2787–2805.

[2] Badan Standardisasi Nasional, (2019), *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

[3] Badan Standardisasi Nasional, (2017), *SNI 7832:2017 Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton Pracetak untuk Konstruksi Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

[4] Buckman, A. H., Mayfield, M., and Beck, S. B. M., (2014), *What is a Smart Building?*, Smart and Sustainable Built Environment, Vol. 3, Issue: 2, pp. 92–109.

[5] Elliott, K. S., (2017), *Precast Concrete Structures*, 2nd Edition, CRC Press/Taylor & Francis, London.

[6] Gustavsson, L., and Sathre, R., (2011), *Energy and CO2 analysis of wood substitution in construction*, Climatic Change, Issue: 3–4, Vol. 105, pp. 129–153.

[7] IRENA, (2022), *Indonesia Energy Transition Outlook*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

[8] Kim, S., and Lee, J., (2020), *Energy saving performance of occupancy sensor systems in educational buildings*, Journal of Building Engineering, Vol. 32, pp. 101784–101792.

[9] Li, H., Chen, Z., and Yong, L., (2018), *Precast concrete technology in sustainable building construction*, Journal of Cleaner Production, Vol. 172, pp. 1440–1452.

[10] Pelealu, M., Pakiding, M. R., Wahongan, V. J. E., Pongajow, A. A., Peginusa, S. S., dan Mantiri, H. G., (2025), *Implementasi Teknologi Beton Precast pada Bangunan Parkiran Bertingkat di Polimdo, Prosiding Seminar Nasional Produk Terapan Unggulan Vokasi (PTUV) Ke-5*, Politeknik Negeri Manado, Manado.

[11] Pratama, A., and Hidayat, R., (2022), *Analisis efisiensi waktu dan biaya konstruksi gedung menggunakan metode beton pracetak dibandingkan metode konvensional*, Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, Issue: 2, Vol. 7, pp. 88–97.

[12] Rizky, M., and Saputra, D., (2023), *Analisis penghematan energi listrik menggunakan occupancy sensor pada bangunan sekolah*, Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan, Issue:1, Vol. 8, pp. 45–53.

[13] Sampaio, P. G. V., and González, M. O. A., (2017), *Photovoltaic Solar Energy: Conceptual Framework*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 74, pp. 590–601
Shaikh, M. A., Hasan, M. S., and Rahman, M. M., (2021), *IoT-based building management system for energy efficiency in smart buildings*, Journal of Building Engineering, Vol. 44, pp. 102969–102978.

[15] Winarso, H., and Firman, T., (2018), *Sustainable urban development challenges in Indonesia: Lessons from Jabodetabek metropolitan area*, Habitat International, Vol. 78, pp. 100–110.