

Pengembangan Beton Precast Modular Berbasis Kearifan Lokal Mapalus Untuk Hunian Masyarakat Berpendapatan Rendah

Auradea Nendu¹, Abelita Timbuleng², Meitrisia Tunas³, Marselino Danel⁴, Shalomitha Sambeko⁵, Stefani Switly Peginusa⁶, Vicky Alexander Assa⁷, Denny Boy Pinasang⁸, Helen Grace Mantiri⁹

Program Studi Konstruksi Bangunan Gedung, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, Manado ^{1,2,3,4,6,9}

Program Studi Diploma III Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, Manado ⁵

Program Studi Teknik Jalan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, Manado ^{7,8}

e-mail: eirenneauradea@mail.com

Abstrak

Tingginya angka backlog perumahan serta ketidakberlanjutan metode konstruksi konvensional menjadi hambatan utama dalam penyediaan rumah layak huni bagi Masyarakat Berpendapatan Rendah (MBR). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengembangan beton precast modular berbasis kearifan lokal Mapalus untuk hunian masyarakat berpendapatan rendah menggunakan kombinasi struktur RUSPIN dan panel dinding pracetak modular tipe 36. Metode penelitian yang digunakan adalah analisis komparatif kuantitatif untuk mengevaluasi efisiensi teknis, biaya, dan waktu pelaksanaan lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan komponen beton pracetak modular ini mampu menekan biaya pembangunan menjadi Rp182.690.460, lebih ekonomis dibandingkan metode konvensional yang mencapai Rp197.908.671. Selain itu, aspek penjadwalan terbukti terpangkas secara masif dari 107 hari menjadi hanya 46 hari kerja. Kelebihan utama dari sistem ini terletak pada bobot komponen yang ringan dengan sambungan kering (baut), sehingga sangat adaptif untuk diintegrasikan dengan sistem rekayasa sosial gotong-royong Mapalus di Minahasa tanpa ketergantungan pada alat berat. Kesimpulan penting dari penelitian ini membuktikan bahwa pengembangan teknologi beton pracetak modular yang disinkronkan dengan kearifan lokal efektif menjadi solusi stimulan penyediaan hunian MBR yang cepat, murah, dan massal.

Kata kunci: Beton precast modular, mapalus, masyarakat berpendapatan rendah, ruspin.

Abstract

The high housing backlog and the unsustainability of conventional construction methods remain major obstacles in providing decent housing for Low-Income Communities (MBR). This study aims to examine the development of modular precast concrete based on Mapalus local wisdom for low-income community housing, utilizing a combination of the RUSPIN framework and an innovative type 36 modular precast wall panel. The research method employs a quantitative comparative analysis to evaluate technical, cost, and time efficiency in field execution. The results indicate that implementing these modular precast concrete components reduces construction costs to IDR 182,690,460, which is more economical than the conventional method at IDR 197,908,671. Furthermore, the project scheduling is significantly shortened from

107 days to only 46 working days. The main advantage of this system lies in its lightweight components and dry connections (bolts), making it highly adaptive for integration with the Mapalus mutual cooperation social engineering system in Minahasa without heavy equipment dependency. The critical conclusion of this research proves that developing modular precast concrete technology synchronized with local wisdom effectively serves as a stimulant solution for fast, affordable, and mass MBR housing delivery.

Keywords: low-income communities, mapalus, modular precast concrete, ruspin

1. PENDAHULUAN

Pemenuhan kebutuhan rumah layak huni bagi Masyarakat Berpendapatan Rendah (MBR) hingga saat ini masih terhambat oleh tingginya angka backlog perumahan serta perluasan kawasan pemukiman kumuh yang tidak teratur di tingkat regional (Murbaintoro dkk., 2009; Rahman dkk., 2022). Keterbatasan ekonomi berimplikasi pada rendahnya akses MBR terhadap teknologi hunian standar yang aman. Faktor utama yang memperlambat penyediaan perumahan swadaya ini adalah ketergantungan pada metode konstruksi konvensional (cast-in-situ), yang dinilai tidak efisien karena memerlukan durasi pengerjaan yang lama, rentan terhadap anomali cuaca, dan menghasilkan kuantitas limbah material yang tinggi (Adityo dan Santoso, 2022). Sebagai solusi berskala nasional, pemerintah melalui Kementerian PUPR telah mengembangkan teknologi modular prafabrikasi seperti Rumah Sistem Panel Instan (RUSPIN) yang terbukti mereduksi biaya, menjamin mutu beton yang seragam, serta mempercepat perakitan struktur utama bangunan melalui sistem bongkar pasang (knock-down) (Agustiningtyas dkk., 2019; Wimala dkk., 2022). Namun, adopsi teknologi RUSPIN komersial di wilayah pedesaan sering kali menemui hambatan teknis akibat beratnya komponen pabrikan kaku yang menuntut penggunaan alat berat, sehingga membatasi ruang partisipasi aktif dan gotong-royong masyarakat setempat (Putri dan Purwantiasning, 2021).

Kabupaten Minahasa dipilih secara spesifik sebagai lokasi studi kasus penelitian ini karena wilayah tersebut memiliki akar budaya Mapalus yang masih sangat kental dan hidup secara turun-temurun di tengah masyarakatnya. Di Minahasa, semangat gotong-royong kolektif ini bukan sekadar tradisi historis, melainkan telah menjadi sistem sosial yang secara aktif masih menggerakkan berbagai aspek kehidupan warga di pedesaan, termasuk dalam hal swadaya membangun fasilitas bersama. Namun demikian, pemenuhan kebutuhan rumah bagi Masyarakat Berpendapatan Rendah (MBR) di wilayah ini belum terselesaikan secara maksimal karena tingginya modal sosial tersebut belum banyak dioptimalkan untuk bersinergi dengan teknologi konstruksi modern. Kesenjangan antara begitu kentalnya budaya Mapalus dengan minimnya integrasi nilai gotong-royong tersebut pada sektor rekayasa perumahan modular inilah yang menjadi alasan utama dipilihnya Minahasa dibandingkan kabupaten/kota lainnya di Provinsi Sulawesi Utara.

Ulasan penelitian (*state of the art*) dalam sepuluh tahun terakhir menunjukkan bahwa efisiensi komponen pracetak dan keterlibatan langsung penghuni (*user-built housing*) merupakan variabel penentu keberhasilan perumahan sosial (Rohman dkk., 2020; Putri dan Purwantiasning, 2021). Dari aspek teknis, penggunaan sambungan kering (*dry connection*) berupa sistem baut

terbukti andal dalam menjaga integritas struktural bangunan modular pracetak (Silalahi dan Tarigan, 2022). Sementara dari sudut pandang manajemen konstruksi, pengintegrasian nilai gotong-royong terbukti mampu meningkatkan efisiensi sosial dan keberlanjutan proyek pemukiman swadaya (Pongantung dan Khasanah, 2024). Meskipun demikian, kajian-kajian tersebut umumnya masih membahas efisiensi teknis komponen pracetak dan aspek rekayasa sosial gotong-royong secara terpisah, serta belum banyak meninjau secara terintegrasi bagaimana desain dimensi komponen pracetak modular dapat disinkronkan langsung dengan sistem kearifan lokal tertentu seperti Mapalus; kesenjangan inilah yang berupaya diisi oleh penelitian ini. Di sinilah letak nilai kebaruan (*originality*) dari penelitian ini, yaitu menyintesis rekayasa teknik sipil terapan berupa optimalisasi komponen beton pracetak ringan modular dan komponen panel pracetak dinding dengan rekayasa sosial berbasis rekonstruksi kearifan lokal budaya Mapalus di Minahasa. Kebaruan teknis diwujudkan dengan merancang ulang dimensi panel dinding pracetak agar lebih ergonomis, ringan, dan bersifat *community-centered*, sehingga ketergantungan pada alat berat dapat dieliminasi sepenuhnya (Hidayat dan Irvan, 2018).

Melalui pendekatan ini, masyarakat lokal tidak hanya bertindak sebagai konsumen pasif, melainkan dilatih secara terstruktur untuk melakukan proses mencetak, membuat, dan merakit panel-panel beton pracetak tersebut secara mandiri di lapangan (Mirsa dkk., 2024). Proses pencetakan (*casting*) dan pembuatan panel pracetak dinding dilakukan oleh warga desa dengan memanfaatkan cetakan lokal yang sederhana dan material penyusun yang mudah diakses. Selanjutnya, dengan sistem sambungan baut yang intuitif, kelompok masyarakat dapat merangkai sendiri seluruh elemen hunian mereka secara gotong-royong tanpa memerlukan keahlian pertukangan tingkat tinggi (Agustiningtyas dkk., 2019; Mirsa dkk., 2024). Berdasarkan uraian tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang konfigurasi dimensi komponen pracetak dan panel dinding modular yang ergonomis serta bagaimana efektivitas penerapan manajemen konstruksi berbasis kearifan lokal Mapalus dalam mengoptimalkan peran aktif masyarakat pada proses produksi dan perakitan hunian tipe 36 di Minahasa. Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang konfigurasi dimensi komponen pracetak dan panel dinding yang ergonomis, serta menganalisis efektivitas manajemen konstruksi Mapalus dalam mengoptimalkan peran aktif masyarakat saat memproduksi dan merakit hunian tipe 36. Manfaat praktis penelitian ini adalah menyediakan cetak biru (*blueprint*) hunian modular mandiri yang murah bagi pemerintah daerah dalam mengatasi pemukiman kumuh. Secara ilmiah, inovasi rekayasa sipil terapan ini memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan keilmuan, khususnya dalam memperkaya kurikulum industrialisasi bangunan dan manajemen konstruksi berbasis komunitas pada institusi pendidikan vokasi agar selaras dengan kebutuhan teknologi masa depan (Adityo dan Santoso, 2022; Kaligis dkk., 2024).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan metode kombinasi (*mixed methods*) yang secara spesifik mengintegrasikan perhitungan teknis rekayasa dengan observasi sosial kemasyarakatan secara berurutan (*sequential*) (Kaligis dkk., 2024). Prosedur mixed method dalam riset ini diimplementasikan melalui dua tahapan utama yang saling melengkapi. Pertama, tahapan

kuantitatif diwujudkan melalui perancangan desain hunian, perhitungan volume pekerjaan, serta analisis komparasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan penjadwalan waktu antara metode konvensional (*cast-in-situ*) dengan metode pracetak modular (*precast modular*) (Ruanda dkk., 2025; Rafik dkk., 2024). Kedua, tahapan kualitatif diaplikasikan melalui observasi lapangan secara langsung untuk menganalisis secara deskriptif efektivitas model partisipasi masyarakat melalui pengorganisasian kerja berbasis kearifan lokal Mapalus saat proses produksi dan perakitan berlangsung di lapangan (Pongantung dan Khasanah, 2024).

Proses pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan mengompilasi data primer dan data sekunder secara sistematis guna mendukung validitas analisis komparatif yang dilakukan. Data primer dikumpulkan melalui observasi langsung dan pengukuran lapangan berupa dimensi teknis denah rumah modular tipe 36 serta spesifikasi detail mengenai komponen struktural kolom, balok, dan tata letak panel pracetak dinding yang akan diaplikasikan (Putri dan Purwantiasning, 2021). Di sisi lain, data sekunder diperoleh melalui studi literatur mendalam yang mencakup karakteristik Rumah Sistem Panel Instan (RUSPIN) sebagai sistem rangka utama, parameter teknis penerapan komponen penutup dinding berupa panel pracetak (*precast wall panel*), serta daftar standar harga satuan upah dan bahan bangunan yang berlaku secara resmi di daerah penelitian (Agustiningtyas dkk., 2019; Mirsa dkk., 2024).

Tahapan evaluasi teknis pada penelitian ini difokuskan pada analisis komparasi fisik, mekanis perakitan, dan aspek manajerial tanpa melibatkan pemodelan perangkat lunak numerik eksternal. Evaluasi keandalan elemen pracetak ditinjau berdasarkan kesesuaian dimensi komponen terhadap kapasitas angkat manual tenaga kerja manusia (*ergonomic review*) serta kemudahan mekanis dari sistem sambungan kering (*dry connection*) menggunakan baut pada rangka RUSPIN (Rohman dkk., 2020; Mirsa dkk., 2024). Analisis kebutuhan biaya dan penjadwalan waktu dihitung secara rigid berdasarkan gambar kerja penataan panel struktur RUSPIN dan panel pracetak dinding tipe 36, dengan mengacu pada regulasi teknis Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berlaku untuk membandingkan koefisien produktivitas metode prafabrikasi terhadap metode pasangan bata tradisional (Adi dkk., 2011; Rafik dkk., 2024).

Mengingat proses pembuatan beton pracetak modular dalam penelitian ini dilakukan langsung di lapangan (*on-site*) oleh masyarakat dengan menggunakan alat-alat tradisional, penerapan instrumen kendali mutu (*quality control*) yang ketat menjadi kunci utama keberhasilan konstruksi. Tujuan utama dari kendali mutu ini adalah untuk menjamin kualitas hasil cetakan secara swadaya serta memastikan seluruh komponen dapat dirakit dengan pas dan kokoh tanpa mengalami kendala di lapangan. Proses pengawasan kualitas ini secara spesifik dibagi ke dalam dua fokus utama, yaitu pengendalian kekuatan mekanis beton melalui pengujian kuat tekan karakteristik dan pengendalian presisi geometri pada posisi lubang baut untuk menghindari kegagalan saat proses perakitan elemen struktural.

Untuk mengendalikan mutu dan kuat tekan karakteristik beton, standarisasi campuran adukan tetap dijaga secara ketat meskipun proses pencampuran dan pengecoran dilakukan secara manual oleh warga. Karena keterbatasan alat timbang digital di lokasi proyek, warga dilatih untuk menggunakan wadah takaran volume yang konsisten, seperti ember yang telah diukur volumenya terlebih dahulu, guna memastikan rasio semen, air, pasir, dan kerikil tidak berubah-ubah. Sebelum adukan beton dituang ke dalam cetakan lokal, pemeriksaan kekentalan melalui uji merosot (*slump*

test) dilakukan secara berkala untuk menjaga konsistensi adukan agar tidak terlalu encer yang dapat melemahkan beton, atau terlalu kental yang berisiko membuat beton keropos. Selain itu, dari setiap proses pengadukan, diambil beberapa sampel beton berbentuk silinder atau kubus standar untuk dirawat (*curing*) dengan metode perendaman yang sama dengan komponen aslinya.

Sementara itu, untuk memastikan ketepatan ukuran dan menghindari kegagalan rakit (*fail*), pengendalian presisi geometri difokuskan pada posisi lubang baut yang menjadi kunci sistem sambungan kering (*dry connection*). Rangka modular ini menggunakan sistem bongkar pasang (*knock-down*) dengan pengikat baut baja galvanis berdiameter 12 mm, sehingga melesetnya posisi lubang sedikit saja akan membuat komponen tidak dapat disatukan. Guna mengantisipasi ketidakakuratan alat cetak tradisional, cetakan wajib dilengkapi dengan alat bantu pengunci jarak (*template*) pracetak yang menahan selongsong pipa PVC agar tidak bergeser dari jarak rencana sebesar 100 mm saat beton dituang dan dipadatkan. Setelah beton mengeras dan dilepas dari cetakan, posisi lubang baut serta dimensi total komponen langsung diukur ulang secara manual menggunakan jangka sorong (*vernier caliper*) dan meteran baja. Batas toleransi pergeseran as lubang baut ditetapkan sangat minim, yaitu maksimal sebesar ± 1 mm hingga ± 2 mm dari gambar rencana. Jika ditemukan komponen dengan deviasi melebihi batas tersebut, komponen akan dikategorikan cacat dan tidak diizinkan masuk ke tahap perakitan gotong-royong Mapalus demi menghindari risiko beton retak akibat baut yang dipaksa masuk. Objek yang dilatih secara spesifik adalah warga lokal tanpa latar belakang keahlian pertukangan formal, dengan jumlah warga yang dilibatkan dibatasi sebanyak 15 orang. Kategori umur peserta ditetapkan pada rentang usia produktif (20-55 tahun) untuk memastikan keterwakilan tenaga kerja yang secara fisik mampu mendukung proses kerja gotong-royong Mapalus secara optimal.

Pada tahap implementasi kualitatif dan eksperimen lapangan, proses perakitan komponen utama struktur RUSPIN serta pemasangan panel pracetak sebagai elemen pembatas dinding dilaksanakan melalui metode pelatihan praktis (*hands-on training*) langsung kepada kelompok masyarakat desa (Mirsa dkk., 2024). Karakteristik komponen panel pracetak dinding yang dirancang ergonomis dan praktis dinilai memiliki sinkronisasi tinggi dengan modularitas rangka RUSPIN, sehingga pengerjaan seluruh elemen rumah tinggal ini diestimasikan menjadi jauh lebih cepat dan minim menghasilkan limbah material (Rohman dkk., 2020). Efek dari integrasi sistem prafabrikasi modern ini, ketika dipadukan secara terstruktur dengan budaya kerja gotong-royong Mapalus, selanjutnya dianalisis secara deskriptif untuk mengukur tingkat keterlibatan aktif komunitas serta dampak ekonominya. Melalui peran swadaya masyarakat yang mencetak dan membuat sendiri panel-panel beton tersebut di lapangan tanpa membelinya dari pabrik komersial, koefisien upah dan biaya material dapat ditekan secara masif sehingga mampu mentransformasikan sistem struktur RUSPIN ini menjadi jauh lebih murah dan efisien dibandingkan metode konvensional (Adityo dan Santoso, 2022; Rafik dkk., 2024). Secara ringkas, keseluruhan tahapan penelitian di atas, mulai dari kajian literatur hingga penarikan kesimpulan, disajikan pada Gambar 1 agar alur kerja penelitian lebih mudah dipahami:



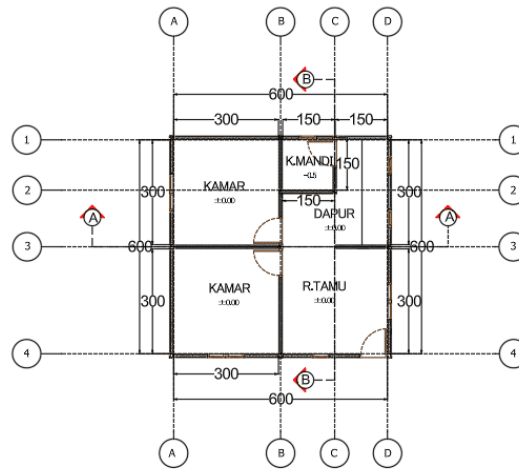
Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Preliminary Design

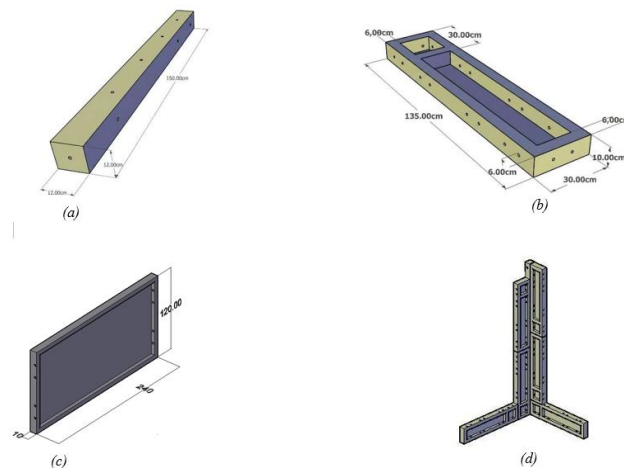
Hunian Masyarakat Berpendapatan Rendah (MBR) tipe 36 ini dirancang menggunakan perangkat lunak AutoCAD untuk menghasilkan gambar kerja dua dimensi yang presisi. Rumah tinggal sederhana ini direncanakan di atas lahan dengan total luasan bangunan 36 m², di mana rencana tata ruangnya dikonfigurasi secara efisien berbasis modul standar Rumah Sistem Panel Instan (RUSPIN) (Agustiningtyas dkk., 2019). Pengonfigurasiannya mengintegrasikan dua unit kamar tidur modular berukuran 3 m × 3 m, sebuah area servis berupa kamar mandi/WC berukuran 1,5 m × 1,5 m dengan elevasi lantai -0.05 untuk optimalisasi drainase, serta area publik berupa ruang tamu yang menyatu dengan dapur dan ruang keluarga. Seluruh pembagian ruang tersebut

disusun secara konsisten pada grid struktural berukuran kelipatan 1,5 m dan 3 m, seperti yang diilustrasikan pada gambar denah di bawah ini:

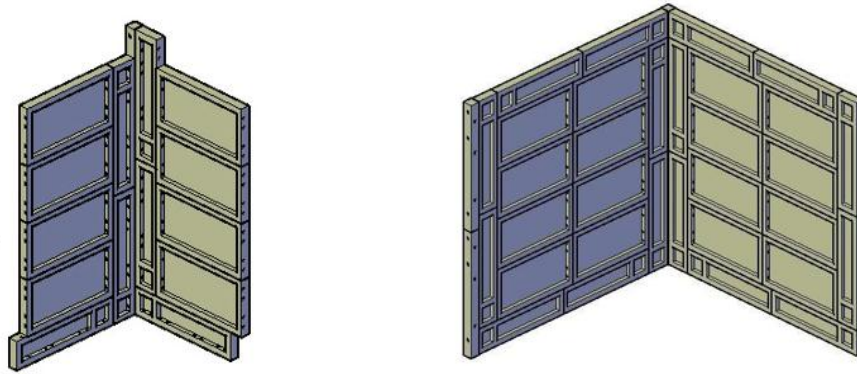


Gambar 2. Denah RUSPIN 36

Pemetaan geometri dan dimensi detail untuk komponen struktur serta dinding pracetak diatur secara akurat guna memastikan kesesuaian cetakan komponen di lapangan. Sistem modular ini mengintegrasikan Komponen 1 berupa kolom/balok praktis pracetak berdimensi 12 cm × 12 cm dengan panjang 150 cm sebagai rangka utama pengunci. Rangka ini dikombinasikan secara modular dengan Komponen 2 (Panel 1) berdimensi 135 × 30 × 10 cm yang memiliki lubang bukaan/coakan modular, serta Panel Dinding Utama berukuran 240 × 120 × 10 cm sebagai elemen pengisi modular vertikal.

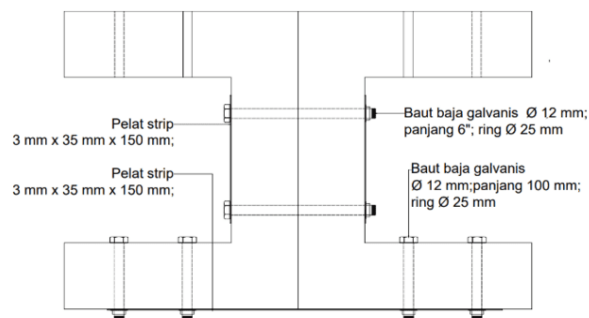


Gambar 3. Detail komponen pracetak RUSPIN: (a) Panel P1, (b) Panel P2 Kolom, (c) Panel Dinding, (d) Rangkaian Komponen Kolom

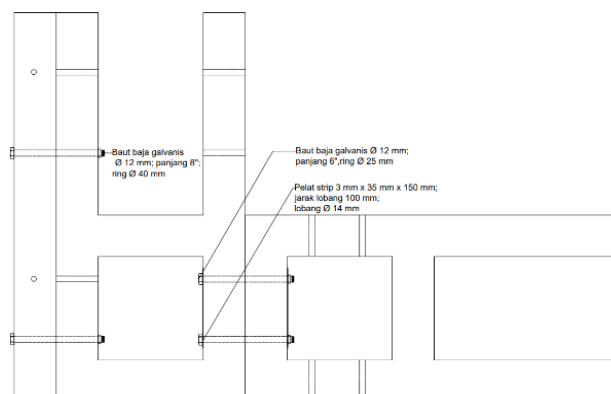


Gambar 4. Rangkaian Komponen Dinding

Kombinasi komponen pracetak ini dipilih karena memiliki daya tahan struktural yang tinggi, akurasi dimensi yang konsisten, serta mutu yang terjaga, sehingga sangat mendukung efisiensi konstruksi dan kekuatan jangka panjang hunian MBR. Penggunaan material ini selaras dengan konsep desain modular yang praktis, di mana seluruh komponen tersebut dicetak secara mandiri oleh masyarakat di lokasi proyek (*on-site/site-cast*) menggunakan cetakan modular yang terstandarisasi. Seluruh proses, mulai dari tahap pengecoran, perawatan beton (*curing*), hingga perakitan komponen dengan sistem sambungan baut (*bolt-joint system*) melalui lubang-lubang pracetak yang tersedia pada Komponen 1 dan Komponen 2, dirancang untuk dilakukan secara gotong-royong. Metode ini secara langsung memperkuat partisipasi aktif dan pemberdayaan komunitas berbasis kearifan lokal Mapalus, sekaligus menekan biaya produksi fabrikasi.



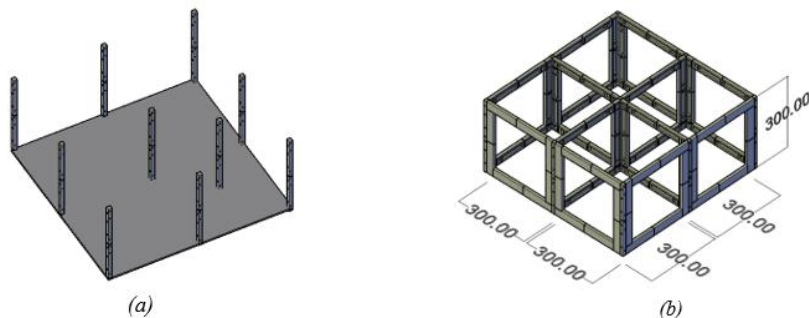
Gambar 5. Sambungan antara komponen balok ring



Gambar 6. Sambungan sloof dan kolom

Pada desain bangunan ini digunakan sistem sambungan dirancang menggunakan metode *bolted connection* dengan pelat baja sebagai elemen penghubung utama untuk memastikan integritas struktural antar komponen pracetak, di mana komponen penghubung utamanya menggunakan baut baja galvanis berdiameter 12 mm dengan variasi panjang 6 inci (dilengkapi ring diameter 25 mm) hingga 8–10 inci (dilengkapi ring diameter 40 mm) untuk menyesuaikan ketebalan komponen. Sebagaiudukan baut, digunakan elemen pelat strip baja berdimensi standar 3 mm x 35 mm x 150 mm dengan lubang baut berdiameter 14 mm dan jarak antar lubang 100 mm, yang pada sambungan tertentu dapat menggunakan pelat strip hingga 450 mm guna mengakomodasi lebih banyak titik baut. Mekanisme sambungan ini diaplikasikan secara spesifik pada berbagai titik struktur, yakni sambungan antar sloof menggunakan baut 6 inci dan pelat strip standar, pertemuan sloof-kolom yang mengombinasikan baut 6 inci dan 8 inci untuk stabilitas transfer beban, serta sambungan antar kolom menggunakan baut 8 inci yang diperkuat baut 6 inci untuk menjaga posisi. Selain itu, pada pertemuan sudut struktur, balok ring dan kolom diikat dengan konfigurasi baut 6 inci dan 8 inci, sementara sambungan antar komponen balok ring memanfaatkan pelat strip dengan panjang 150 mm hingga 450 mm agar tersambung secara berkelanjutan. Terakhir, sambungan portal komponen pada bagian ujung atas maupun tengah menggunakan kombinasi baut 6 inci dan 10 inci untuk menciptakan kekakuan struktur pada sistem rangka bangunan, yang secara keseluruhan sangat esensial untuk memastikan bahwa setiap elemen pracetak dapat bekerja sebagai satu kesatuan struktur yang kokoh, stabil, dan mampu menahan beban secara merata.

3.2 Analisis Struktur



Gambar 7. (a) Rencana Kolom Rumah Tipe 36, (b) Struktur Rumah Tipe 36

Analisis sambungan pada penelitian ini tidak dilakukan melalui pemodelan numerik menggunakan aplikasi ETABS. Perlu ditegaskan bahwa pemodelan sambungan kering berupa mur, baut, dan pelat secara semi-rigid pada ETABS maupun SAP2000 sesungguhnya dapat dilakukan, misalnya melalui elemen spring atau fitur pemodelan sambungan semi-rigid lainnya, namun pendekatan tersebut memerlukan data kalibrasi kekakuan sambungan hasil pengujian yang belum tersedia pada tahap penelitian ini sehingga tidak digunakan. Sebagai gantinya, evaluasi kinerja struktur portal RUSPIN pada penelitian ini mengacu pada hasil pengujian eksperimental dari penelitian sebelumnya (Agustiningtyas dkk., 2019; Mirsa dkk., 2024). Pengujian awal eksperimental struktur portal RUSPIN tersebut menghasilkan beberapa kesimpulan. Tinjauan batasan kinerja peraturan gempa Indonesia, batasan kinerja batas layan struktur portal RUSPIN adalah 30 mm dan kinerja batas ultimit adalah $0,02 \times 3000 \text{ mm} = 60 \text{ mm}$. Dalam hal ini batasan

kinerja batas layan belum terlampaui karena deformasi pada rentang beban batas proporsional adalah sebesar 6,29 mm. Rasio daktilitas struktur (μ) dinding adalah sebesar 12,39 dan faktor kuat lebih struktur (f_2) adalah sebesar 1,97. Artinya, struktur portal RUSPIN dapat dikategorikan (berdasarkan acuan peraturan gempa Indonesia SNI 1726:2002) sebagai daktil penuh. Hal ini memenuhi persyaratan apabila hendak digunakan sebagai komponen struktural bangunan pada wilayah gempa moderat hingga berat (wilayah gempa 4 hingga 6) di Indonesia.



Gambar 8. Setup benda uji portal RUSPIN
Sumber: Laporan Akhir BPTPT, Denpasar, 2013

3.3 Analisis Rencana Anggaran Biaya

Tabel 1. Perbandingan Biaya

No	Uraian Pekerjaan	Konvensional (Rp)	RUSPIN (Rp)
1	Pekerjaan Persiapan	2.355.000	674.000
2	Pekerjaan Pondasi	10.027.800	7.024.000
3	Pekerjaan Struktur	3.345.300	58.433.000
4	Pekerjaan Dinding	67.608.000	36.637.000
5	Kusen, Pintu & Jendela	18.900.000	15.700.000
6	Pekerjaan Atap	24.330.000	17.190.000
7	Pekerjaan Lantai	9.954.000	5.490.000
8	Pekerjaan Plafon	10.080.000	5.760.000
9	Pekerjaan Sanitasi	8.250.000	6.000.000
10	Pekerjaan pengecatan	18.136.000	9.218.000
11	Instalasi Listrik	3.060.000	1.960.000
12	Pekerjaan lain-lain	2.250.000	500.000
SUBTOTAL (Sebelum PPN)		178.296.100	164.586.000
PPN 11%		19.612.571	18.104.640
TOTAL AKHIR TERMASUK PPN (Rp)		197.908.671	182.690.460

Tabel 2. Rekapitulasi perbandingan waktu pelaksanaan

No	Uraian Pekerjaan	Konvensional (hari)	RUSPIN (hari)
1	Pekerjaan Persiapan	5	4
2	Pekerjaan Pondasi	10	5
3	Pekerjaan Struktur	11	5
4	Pekerjaan Dinding	32	6

No	Uraian Pekerjaan	Konvensional (hari)	RUSPIN (hari)
5	Kusen, Pintu & Jendela	8	4
6	Pekerjaan Atap	9	5
7	Pekerjaan Lantai	8	4
8	Pekerjaan Plafon	4	2
9	Pekerjaan Sanitasi	8	4
10	Pekerjaan pengecatan	7	4
11	Instalasi Listrik	3	2
12	Pekerjaan lain-lain	2	1
TOTAL HARI KERJA		107	46

Berdasarkan komparasi pada Tabel 1 dan Tabel 2, terlihat adanya efisiensi biaya dan waktu yang sangat masif. Penurunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dari Rp197.908.671 menjadi Rp182.690.460 terutama didorong oleh dua faktor: reduksi volume sisa material (*waste*) serta pemangkasan biaya upah pekerja. Penggunaan panel modular mengeliminasi kebutuhan material basah dan perancah (bekisting kayu) yang biasanya membebani metode konvensional. Lebih dari itu, integrasi komponen yang ringan dengan budaya Mapalus terbukti secara radikal menekan biaya tenaga kerja, mengingat perakitan hunian dilakukan secara swadaya oleh komunitas tanpa perlu menyewa tenaga ahli atau alat berat. Dari segi penjadwalan, waktu pelaksanaan menyusut drastis dari 107 hari menjadi 46 hari kerja. Percepatan ini terjadi karena perakitan struktur modular dengan sistem sambungan kering (baut) sepenuhnya memangkas waktu tunggu umur rencana beton (*curing time*) di lapangan, sehingga komponen dinding dan struktur utama dapat dirangkai secara simultan dan instan.

Hasil penelitian ini memperkuat temuan sebelumnya dari Agustiningtyas dkk. (2019) dan Wimala dkk. (2022) yang menyatakan bahwa teknologi prafabrikasi RUSPIN sangat efektif mereduksi biaya dan waktu proyek. Namun demikian, penelitian ini memberikan kebaruan analisis yang mengisi celah literatur dari riset Putri dan Purwantiasning (2021) yang sebelumnya mengidentifikasi bahwa kendala utama komponen pracetak komersial adalah beban massanya yang kaku sehingga menuntut penggunaan alat berat di pedesaan. Melalui optimalisasi modifikasi dimensi panel pracetak yang lebih tipis dan ergonomis, kendala tersebut berhasil dipecahkan sehingga komponen ini sangat adaptif untuk digerakkan oleh tenaga manusia murni (*community-centered*). Implikasi praktis dari temuan ini sangat strategis terhadap sektor konstruksi MBR. Kolaborasi multidisiplin antara teknologi sipil (beton pracetak modular) dan rekayasa sosial (Mapalus) ini sukses menghasilkan cetak biru (*blueprint*) penyediaan perumahan yang tidak hanya murah dan cepat, tetapi juga mampu memberdayakan komunitas lokal, sehingga dapat dijadikan acuan strategis bagi pemerintah dalam mengakselerasi penanganan *backlog* kawasan kumuh secara berkelanjutan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merespons masalah *backlog* perumahan Masyarakat Berpendapatan Rendah (MBR) melalui kombinasi struktur RUSPIN dan panel dinding pracetak modular tipe 36 yang terbukti efisien dengan menekan biaya menjadi Rp182.690.460

(dibandingkan metode konvensional Rp197.908.671) serta memangkas durasi dari 107 hari menjadi 46 hari kerja. Bobot komponen yang ringan dan sistem sambungan kering menggunakan baut baja galvanis 12 mm memungkinkan perakitan dilakukan tanpa alat berat, sehingga sukses mengintegrasikan budaya gotong-royong *Mapalus* di Minahasa sekaligus membuktikan bahwa industrialisasi bangunan dapat diadaptasi menjadi teknologi tepat guna secara sosial-kultural. Meskipun sistem ini menuntut kontrol kualitas cetakan yang ketat demi mencegah deviasi geometri komponen, potensinya sangat besar untuk terus dikembangkan. Oleh karena itu, penelitian lanjutan direkomendasikan untuk melakukan pemodelan numerik evaluasi beban gempa, mengeksplorasi material lokal guna mereduksi bobot panel, serta mengembangkan inovasi bongkar-pasang adaptif (*reversible construction*) untuk mewujudkan konstruksi berkelanjutan berbasis *zero waste* dan ekonomi sirkular. Penerapan inovasi bongkar-pasang yang adaptif ini akan memberikan kontribusi luar biasa terhadap perwujudan konstruksi berkelanjutan (*sustainable construction*) melalui penerapan prinsip ekonomi sirkular, di mana elemen struktur beton pracetak dapat digunakan kembali (*reuse*) secara utuh atau direlokasi di masa depan tanpa memproduksi limbah pembongkaran bangunan yang merusak lingkungan (*zero waste*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat (P3M), Politeknik Negeri Manado yang telah memberikan pendanaan melalui skema Penelitian Kreativitas Mahasiswa Tahun 2026 juga semua yang telah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, R. Y., Nurhuda, I., Sukamta, dan Fitriani, I., (2011), Perilaku dan Kekuatan Sambungan Kolom pada Sistem Beton Pracetak, *Jurnal MKTS: Jurnal Ilmu dan Terapan Bidang Teknik Sipil*, Vol. 17, No. 1, pp. 45-56.
- Adityo, dan Santoso, T. Y. E., (2022), Perspektif Teknis dan Teknologis dalam Perkembangan Desain Rumah Berbiaya Rendah di Indonesia, *Arcade: Jurnal Arsitektur*, Vol. 6, No. 2, pp. 255-264.
- Agustiningtyas, R. S., Rusli, Sena, P. G., Suryantini, P. R., Rakhman, J., dan Sumawa, I. W. A. M., (2019), *Rumah Sistem Panel Instan (RUSPIN): Solusi Inovatif Membangun Rumah*, Ed. 1, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Kaligis, E. I., Ngangi, M. C., Talengkera, Y. J., dan Rumbayan, R., (2024), Efisiensi Konstruksi Beton Precast terhadap Beton Konvensional pada Pembangunan Sekretariat Himaju Teknik Sipil Polimdo, *Prosiding Seminar Nasional Produk Terapan Unggulan Vokasi (PTUV) Ke-4 Politeknik Negeri Manado*, Manado, 20 Maret 2024.
- Mirsa, R., Muhammad, Saputra, E., Ardyan, M., dan Alashri, H., (2024), Pelatihan Merangkai Panel RUSPIN Menjadi Struktur Bangunan di Desa Uteunkot, *Jurnal Solusi Masyarakat Dikara*, Vol. 4, No. 2, pp. 108-113.
- Mirsa, R., Muhammad, Saputra, E., Ardyan, M., dan Hassan, S. M., (2024), Praktek Perakitan Panel RUSPIN Kepada Kelompok Masyarakat Desa Uteunkot, *Mejuajua: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, Vol. 4, No. 2, pp. 399-406.

- Murbaintoro, T., Ma'arif, M. S., Sutjahjo, S. H., dan Saleh, I., (2009), Model Pengembangan Hunian Vertikal Menuju Pembangunan Perumahan Berkelanjutan, *Jurnal Permukiman*, Vol. 4, No. 2, pp. 76-86.
- Pongantung, R. J., dan Khasanah, D. R. A. U., (2024), Model Partisipasi Masyarakat Melalui Mapalus Sebagai Local Wisdom Dalam Eksistensi Hukum dan Masyarakat di Minahasa Selatan, *Jurnal Hukum dan Masyarakat*, Vol. 26, No. 2, pp. 167-176.
- Putri, S. P. S., dan Purwantiasning, A. W., (2021), Kajian Konsep Arsitektur Modular pada Rumah Susun ITB Jatinangor, *Nature: National Academic Journal of Architecture*, Vol. 8, No. 1, pp. 81-93.
- Rafik, A., Cahyani, R. F., dan Kiswanto, H., (2024), Perbandingan Anggaran Biaya Antara Rumah Konvensional Dengan Rumah Teknologi RUSPIN, *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, Vol. 8, No. 1, pp. 12-21.
- Rahman, F., Rahmatullah, R., Hadi, S., Nugroho, A. R., dan Riadi, S., (2022), Kajian Tipologi Perumahan Masyarakat Berpenghasilan Rendah (MBR), *Jurnal Geografika (Geografi Lingkungan Lahan Basah)*, Vol. 3, No. 1, pp. 23-32.
- Rohman, M. A., Wibowo, M. A., dan Nuroji, (2020), Kajian Perbandingan Pengaruh Penggunaan Dinding Precast Dengan Dinding Konvensional Pada Proyek Cordova Semarang, *Jurnal Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro*, Vol. 7, No. 2, pp. 88-99.
- Ruanda, H., Cakrawala, M., dan Aditya, C., (2025), Analisis Perbandingan Biaya dan Waktu Metode Konvensional dan Pracetak (Studi Kasus: Cluster Villa Puncak Landung Sari Malang), *Bouwplank: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan*, Vol. 5, No. 1, pp. 30-39.
- Silalahi, H. C., dan Tarigan, J., (2022), Analisis Ketahanan Struktur Atas Rumah Instan Sederhana Sehat Dengan Perhitungan Beban Gempa di Upgrade 3 (Tiga) Lantai, *Jurnal Syntax Admiration*, Vol. 3, No. 11, pp. 1412-1423.
- Wimala, M., Bonardo, B., Perceka, W., dan Carissa, (2022), Keunggulan Kompetitif Teknologi Modular Rumah Instan Sederhana dan Sehat (RISHA) Jayagiri, *Arsitektura: Jurnal Ilmiah Arsitektur dan Lingkungan Binaan*, Vol. 20, No. 2, pp. 327-340.