Jurnal Siber Multi Disiplin (JSMD)
E-ISSN: 2987-0380
P-ISSN: 2987-0402
+62 822 1012 3600 https://research.e-siber.org siberpublisher.info@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.38035/jsmd.v4i3
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Rancang Bangun Cetakan Modular Konvertibel Balok dan Pelat untuk Simulasi Pengujian Perkerasan Kaku di Laboratorium

Ubnu Fajar Karimmulloh[1], Ananda Dwi Cahyono[2], Hairul Salam[3], Eva Olivia Hutasoit[4], Endra Dwi Andika[5], Devi Listiana Saputri[6]

[1]Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi, Indonesia, ubnu@poliwangi.ac.id
[2]Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi, Indonesia
[3]Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi, Indonesia
[4]Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi, Indonesia
[5]Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi, Indonesia
[6]Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi, Indonesia

Corresponding Author: ubnu@poliwangi.ac.id[1]

Abstract: *Rigid pavement laboratory learning requires specimens that represent flexural behavior and slab response under loading, while the available concrete molds are generally limited to cylinders and cubes. Previous studies mainly emphasize concrete material performance, pavement response, or construction formwork, leaving limited discussion on convertible molds for laboratory-scale rigid pavement testing. This study aims to design, fabricate, and conduct an initial functional evaluation of a modular convertible mold for beam and slab specimens. A product-engineering approach was applied through requirement identification, technical design, fabrication, mechanical assembly, and preliminary evaluation. The resulting beam configuration forms three nominal specimens of 150 × 150 × 600 mm, whereas the slab configuration forms one specimen of 800 × 800 × 150 mm. Both configurations use steel base plates, side panels, reinforcing brackets, and removable bolted connections. Fabrication documentation confirms that the components can be assembled into both planned configurations. The novelty lies in adapting a removable modular connection concept to support two rigid-pavement specimen geometries within one laboratory equipment development framework. Quantitative validation of dimensional tolerance, vibration stability, demolding, and repeated use remains necessary.*

Keyword: *Convertible Mold, Rigid Pavement, Beam Specimen, Slab Specimen, Laboratory Testing*

Abstrak: Pembelajaran laboratorium perkerasan kaku memerlukan benda uji yang merepresentasikan perilaku lentur dan respons pelat terhadap pembebanan, sedangkan cetakan beton yang tersedia umumnya terbatas pada silinder dan kubus. Penelitian terdahulu lebih banyak membahas kinerja material beton, respons perkerasan, atau sistem bekisting konstruksi sehingga pengembangan cetakan konvertibel untuk pengujian perkerasan kaku skala laboratorium masih terbatas. Penelitian ini bertujuan merancang, memfabrikasi, dan

melakukan evaluasi fungsi awal cetakan modular konvertibel untuk benda uji balok dan pelat. Pendekatan rekayasa produk dilakukan melalui identifikasi kebutuhan, perancangan teknis, fabrikasi, perakitan mekanis, dan evaluasi awal. Konfigurasi balok menghasilkan tiga ruang benda uji nominal 150 × 150 × 600 mm, sedangkan konfigurasi pelat menghasilkan satu ruang benda uji 800 × 800 × 150 mm. Kedua konfigurasi menggunakan pelat dasar baja, panel sisi, pengaku, dan sambungan baut yang dapat dilepas. Dokumentasi fabrikasi menunjukkan komponen dapat dirakit sesuai konfigurasi yang direncanakan. Kebaruan penelitian terletak pada penerapan konsep sambungan modular bongkar-pasang untuk mendukung dua geometri benda uji perkerasan kaku dalam satu kerangka pengembangan peralatan laboratorium. Validasi kuantitatif toleransi dimensi, kestabilan saat vibrasi, pembongkaran, dan penggunaan berulang masih diperlukan.

Kata Kunci: Cetakan Konvertibel, Perkerasan Kaku, Benda Uji Balok, Benda Uji Pelat, Pengujian Laboratorium

PENDAHULUAN

Perkerasan kaku bekerja sebagai sistem pelat beton yang menerima dan mendistribusikan beban kendaraan. Kinerjanya tidak cukup dipahami hanya melalui kuat tekan, karena perilaku lentur dan respons pelat terhadap pembebanan juga menjadi bagian penting dalam evaluasi material dan struktur perkerasan. Kajian mengenai pengaruh kuat lentur terhadap kinerja perkerasan kaku serta penggunaan modifikasi material untuk meningkatkan respons lentur menunjukkan pentingnya parameter tersebut dalam pengujian beton perkerasan (Robinson, 2024; Yaowarat et al., 2021; Abdul Jawad & Albayati, 2025).

Kebutuhan tersebut berimplikasi pada pembelajaran laboratorium. Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan di Politeknik Negeri Banyuwangi memerlukan sarana yang memungkinkan mahasiswa menyiapkan benda uji balok untuk pengujian lentur dan benda uji pelat untuk simulasi pembebanan. Inventaris laboratorium yang digunakan pada penelitian ini menunjukkan bahwa cetakan beton yang tersedia masih didominasi bentuk silinder dan kubus. Kondisi tersebut menimbulkan kesenjangan antara ketersediaan alat pengujian dengan sarana pembentukan benda uji perkerasan kaku.

Ketepatan bentuk dan dimensi benda uji bergantung pada sistem cetakan yang mampu mempertahankan geometri selama pengecoran, pemadatan, dan perawatan. Literatur mengenai sistem *formwork* modern menempatkan akurasi geometri, fleksibilitas fabrikasi, efisiensi penggunaan, serta kemungkinan penggunaan ulang sebagai aspek penting dalam pengembangan sistem cetakan (Li et al., 2022; Gappmaier et al., 2024). Pada sisi lain, penelitian beton dan perkerasan terkini lebih banyak berfokus pada perilaku material, kapasitas pelat, atau karakteristik mekanik benda uji (Eisa et al., 2024; Hameed et al., 2023; Xavier et al., 2025).

Research gap penelitian ini terletak pada masih terbatasnya pengembangan cetakan laboratorium yang secara khusus mengakomodasi dua kebutuhan geometri benda uji perkerasan kaku, yaitu balok dan pelat, melalui sistem *modular* bongkar-pasang. Cetakan konvensional yang hanya ditujukan untuk satu bentuk benda uji membatasi fleksibilitas praktikum, sedangkan penggunaan sambungan permanen dapat menyulitkan perubahan konfigurasi, pembersihan, dan penggantian komponen.

Keunikan penelitian ini adalah pengembangan konsep cetakan *modular* konvertibel yang menggunakan pelat dasar, panel sisi, panel pembagi, *bracket* pengaku, dan sambungan baut *knock-down*. Konsep tersebut diarahkan untuk menghasilkan konfigurasi balok dengan tiga ruang benda uji dan konfigurasi pelat dengan satu ruang benda uji. Pengembangan dilakukan

dalam skala laboratorium sebagai media pembelajaran dan sebagai prototipe peralatan pendukung pengujian perkerasan kaku.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan merancang konfigurasi cetakan balok dan pelat, memfabrikasi komponen prototipe dengan sistem sambungan mekanis yang dapat dilepas, serta mengevaluasi fungsi *modular* pada tahap awal berdasarkan keterlaksanaan perakitan dan terbentuknya geometri rencana. Evaluasi kuantitatif kinerja operasional, termasuk toleransi dimensi hasil pengecoran dan kestabilan saat vibrasi, diposisikan sebagai tahap validasi lanjutan.

METODE

Penelitian menggunakan pendekatan rekayasa produk yang berfokus pada perancangan dan validasi bertahap prototipe cetakan *modular* konvertibel balok dan pelat. Kegiatan dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi. Objek penelitian adalah sistem cetakan baja *modular* yang dirancang untuk mendukung pembuatan benda uji perkerasan kaku skala laboratorium.

Tahap pertama berupa identifikasi kebutuhan pengujian dan spesifikasi benda uji. Dasar teknis yang digunakan dalam dokumen penelitian mencakup pengujian lentur balok beton berdasarkan ASTM C78 dan SNI 4431, ukuran balok berdasarkan ASTM C192, pengujian pelat yang disesuaikan dengan kebutuhan alat laboratorium dan acuan AASHTO T97, serta pembuatan benda uji berdasarkan ASTM C31. Hasil identifikasi digunakan untuk menetapkan dimensi nominal balok 150 × 150 × 600 mm dan pelat 800 × 800 × 150 mm.

Tahap kedua meliputi penyusunan konsep sistem bongkar-pasang, desain konfigurasi balok dan pelat, pembuatan gambar teknik, serta penentuan material dan sistem pengunci. Tahap ketiga adalah fabrikasi komponen yang mencakup penyiapan pelat baja, pemotongan dan pembentukan panel, pembuatan lubang sambungan, pemasangan *bracket*, perakitan dengan baut *knock-down*, serta pemeriksaan kesesuaian komponen terhadap gambar kerja.

Evaluasi pada tahap kemajuan dilakukan secara deskriptif berdasarkan gambar teknik dan dokumentasi fabrikasi/perakitan. Indikator yang diamati meliputi kemampuan komponen untuk dirakit, terbentuknya konfigurasi balok dan pelat, fungsi sambungan baut, serta keberadaan *bracket* pengaku. Parameter yang memerlukan data pengujian langsung, yaitu toleransi dimensi benda uji hasil pengecoran, kestabilan ketika vibrasi, kebocoran pasta semen, waktu pemasangan dan pembongkaran, kemudahan *demolding*, serta penggunaan berulang, belum digunakan untuk menyatakan kelayakan operasional penuh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan

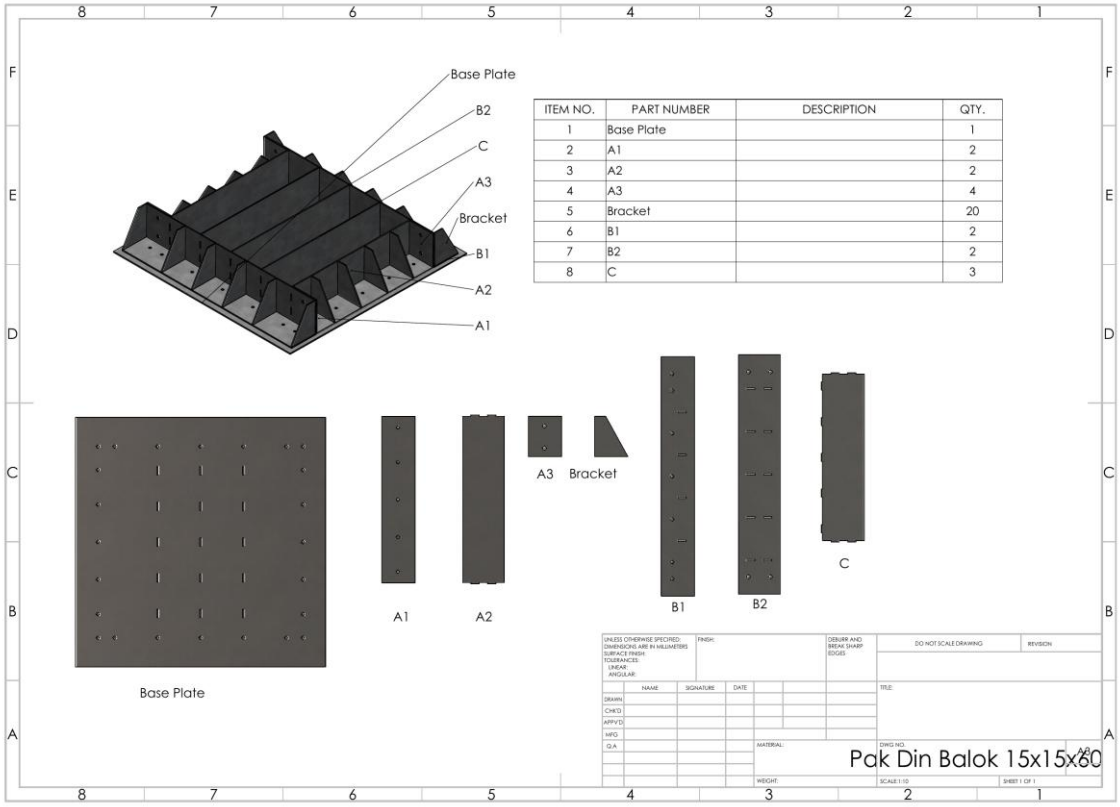
Hasil perancangan menghasilkan dua konfigurasi utama. Konfigurasi balok membentuk tiga ruang benda uji dengan dimensi nominal 150 × 150 × 600 mm, sedangkan konfigurasi pelat membentuk satu ruang benda uji 800 × 800 × 150 mm. Sistem terdiri atas *base plate*, panel sisi, panel ujung, panel pembagi pada konfigurasi balok, *bracket* pengaku, dan sambungan baut *knock-down*. Spesifikasi utama rancangan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi utama hasil perancangan

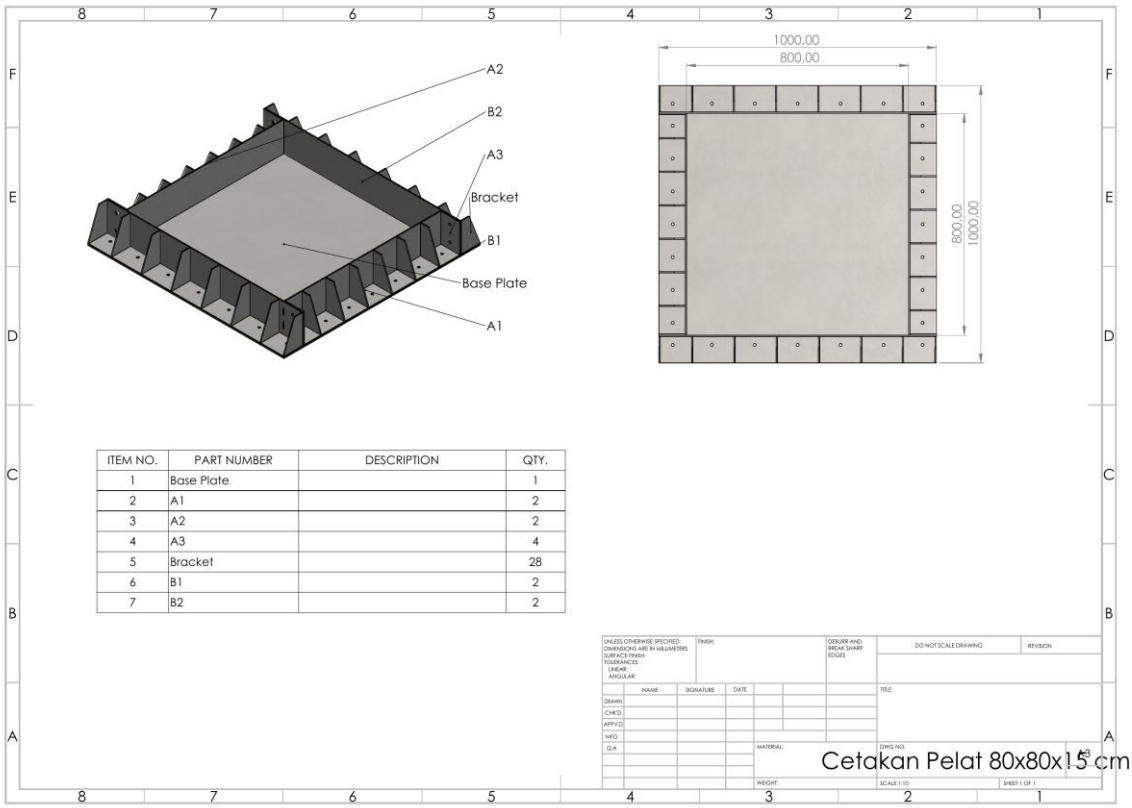
Parameter	Konfigurasi Balok	Konfigurasi Pelat
Dimensi benda uji	150 × 150 × 600 mm	800 × 800 × 150 mm
Dimensi *base plate*	±900 × 900 mm	±1000 × 1000 mm
Jumlah *bracket*	20 buah	28 buah

Panel pembagi	C = 3 buah	Tidak digunakan
Sistem sambungan	Baut *knock-down*	Baut *knock-down*
Fungsi utama	Benda uji uji lentur	Benda uji pelat

Gambar teknik memperlihatkan susunan komponen dan hubungan antarbagian pada masing-masing konfigurasi. Pada konfigurasi balok, panel pembagi digunakan untuk membentuk tiga ruang sejajar pada satu *base plate*. Pada konfigurasi pelat, panel disusun mengelilingi perimeter sehingga terbentuk satu bidang cetak berukuran lebih besar. Perbedaan jumlah *bracket* menyesuaikan panjang perimeter dan kebutuhan pengaku pada tiap konfigurasi.



Gambar 1. Gambar teknik dan komponen konfigurasi cetakan balok



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Base Plate		1
2	A1		2
3	A2		2
4	A3		4
5	Bracket		28
6	B1		2
7	B2		2

Gambar 2. Gambar teknik dan komponen konfigurasi cetakan pelat

Fabrikasi dan Perakitan Prototipe

Fabrikasi dilakukan setelah gambar kerja dan konfigurasi komponen ditetapkan. Material baja disiapkan untuk *base plate*, panel sisi, panel ujung, panel pembagi, dan *bracket* pengaku. Komponen kemudian dipotong dan dibentuk sesuai dimensi rencana, dilanjutkan dengan pembuatan lubang pada titik sambungan. Ketepatan posisi lubang menjadi bagian penting karena panel, *bracket*, dan *base plate* harus dapat diselaraskan saat perakitan.

Pada konfigurasi balok, panel sisi, panel ujung, dan tiga panel pembagi diposisikan di atas *base plate* sekitar 900 × 900 mm sehingga terbentuk tiga ruang balok sejajar. Sekitar 20 *bracket* digunakan sebagai pengaku dan penghubung mekanis. Pada konfigurasi pelat, panel dipasang pada *base plate* sekitar 1000 × 1000 mm untuk membentuk ruang nominal 800 × 800 × 150 mm. Konfigurasi ini menggunakan sekitar 28 *bracket* yang tersebar di sepanjang perimeter.

Sistem baut *knock-down* memungkinkan panel dipasang dan dilepas tanpa mengandalkan sambungan las permanen pada seluruh bagian cetakan. Secara konseptual, sistem tersebut mempermudah perubahan konfigurasi, pembersihan, pemeriksaan, dan penggantian komponen tertentu. Dokumentasi fabrikasi menunjukkan bahwa komponen hasil produksi dapat dirakit menjadi konfigurasi balok dan pelat sebagaimana direncanakan.



Gambar 3. Tahapan fabrikasi dan perakitan prototipe: pembuatan lubang sambungan, pemasangan panel pada base plate, serta konfigurasi balok dan pelat



Sumber: Hasil Penelitian (2026)

Gambar 4. Detail pemasangan panel sisi, bracket pengaku, dan baut knock-down pada konfigurasi cetakan pelat

Evaluasi Awal Fungsi Modular

Evaluasi awal dibatasi pada bukti yang tersedia pada tahap kemajuan. Kemampuan komponen untuk dirakit, terbentuknya konfigurasi balok dan pelat, fungsi sambungan baut, serta keberadaan *bracket* pengaku telah teramati. Hasil evaluasi tersebut belum digunakan untuk menyatakan bahwa prototipe telah memenuhi seluruh persyaratan operasional, karena beberapa parameter kinerja masih memerlukan pengujian kuantitatif.

Tabel 2. Evaluasi awal fungsi modular

Aspek	Bukti yang Tersedia	Status
Komponen dapat dirakit	Dokumentasi pemasangan panel dan baut	Teramati
Konfigurasi balok terbentuk	Dokumentasi prototipe tiga ruang balok	Teramati
Konfigurasi pelat terbentuk	Dokumentasi prototipe pelat	Teramati
Pengukuran toleransi dimensi	Belum ada data ukur benda uji hasil pengecoran	Perlu diuji
Stabilitas saat vibrasi	Belum ada dokumentasi atau rekaman kuantitatif saat vibrasi	Perlu diuji
Kemudahan *demolding* dan pakai ulang	Belum ada beberapa siklus pengecoran berulang	Perlu diuji

Sumber: Hasil Penelitian (2026)

Pemisahan antara keberhasilan rancang bangun dan kelayakan operasional penting untuk menjaga interpretasi hasil sesuai bukti. Pada tahap ini, keberhasilan yang dapat dinyatakan adalah keterlaksanaan desain dan perakitan fisik. Kinerja terhadap tekanan beton segar, getaran pemadatan, kebocoran pasta semen, akurasi ukuran benda uji, serta ketahanan sambungan setelah beberapa siklus penggunaan masih harus dibuktikan melalui *trial mix* dan pengujian berulang.

Pembahasan dan Kebaruan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsep *modular* dapat diterapkan pada pengembangan cetakan benda uji perkerasan kaku skala laboratorium. Prinsip penggunaan komponen yang dapat dilepas sejalan dengan arah pengembangan *formwork* modern yang menekankan fleksibilitas sistem, efisiensi fabrikasi, akurasi, dan penggunaan ulang (Li et al., 2022; Gappmaier et al., 2024). Perbedaannya, penelitian ini mengadaptasi prinsip tersebut pada peralatan laboratorium berukuran relatif kecil dan pada kebutuhan pembentukan benda uji yang berbeda dalam satu kerangka desain.

Dalam kajian perkerasan dan beton, studi Robinson (2024), Eisa et al. (2024), Abdul Jawad dan Albayati (2025), serta Yaowarat et al. (2021) berfokus pada kuat lentur, kapasitas pelat, material perkerasan, atau respons terhadap pembebanan. Sementara itu, penelitian Hameed et al. (2023) dan Xavier et al. (2025) menitikberatkan karakteristik mekanik beton melalui benda uji tertentu. Fokus tersebut memperlihatkan bahwa kualitas hasil pengujian sangat bergantung pada tersedianya benda uji dengan geometri yang tepat, tetapi pengembangan sistem cetakan konvertibel sebagai perangkat laboratorium bukan menjadi fokus utama studi-studi tersebut.

Dari sisi pembelajaran, cetakan *modular* membuka keterkaitan antara pembacaan gambar teknik, proses fabrikasi, toleransi sambungan, pengecoran, pemadatan, pembongkaran cetakan,

dan pengujian mekanik. Satu rangkaian praktikum dapat memperlihatkan kepada mahasiswa bahwa mutu hasil uji tidak hanya ditentukan oleh material beton, tetapi juga oleh ketepatan persiapan benda uji dan kestabilan perangkat pendukungnya.

Novelty penelitian ini terletak pada penerapan konsep sambungan mekanis bongkar-pasang untuk mengembangkan dua konfigurasi benda uji perkerasan kaku, yaitu balok dan pelat, dengan komponen panel dan pengaku yang dirancang secara *modular*. Kebaruan pada tahap kemajuan masih berupa kebaruan rancang bangun dan keterlaksanaan prototipe, bukan bukti superioritas kinerja. Nilai kinerja baru dapat dinyatakan setelah diperoleh data toleransi dimensi, kestabilan saat vibrasi, kemudahan *demolding*, kebocoran pasta semen, dan ketahanan pada penggunaan berulang.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian telah menghasilkan desain dan prototipe cetakan *modular* konvertibel untuk pembentukan benda uji balok dan pelat perkerasan kaku. Konfigurasi balok membentuk tiga ruang nominal 150 × 150 × 600 mm dengan sekitar 20 *bracket*, sedangkan konfigurasi pelat membentuk satu ruang nominal 800 × 800 × 150 mm dengan sekitar 28 *bracket*. Komponen utama berupa *base plate*, panel baja, panel pembagi, *bracket* pengaku, dan baut *knock-down* dapat dirakit menjadi dua konfigurasi fisik sesuai gambar kerja. Berdasarkan bukti yang tersedia, capaian penelitian dapat dinyatakan sebagai keberhasilan rancang bangun dan perakitan awal prototipe, sedangkan kelayakan operasional penuh belum dapat disimpulkan sebelum validasi kuantitatif dilakukan.

Keterbatasan

Penelitian pada tahap kemajuan belum memiliki data lengkap dari pengecoran menggunakan prototipe. Toleransi dimensi benda uji, kestabilan panel saat vibrasi, kebocoran pasta semen, waktu perakitan dan pembongkaran, kemudahan *demolding*, kondisi sambungan setelah penggunaan, serta ketahanan pemakaian berulang belum tersedia secara kuantitatif. Evaluasi yang disajikan karena itu masih terbatas pada desain, dokumentasi fabrikasi, dan keterlaksanaan perakitan.

Saran

Tahap selanjutnya perlu melaksanakan *trial mix* dan pengecoran benda uji balok serta pelat, diikuti pengukuran dimensi pada beberapa titik, pencatatan perubahan posisi panel selama vibrasi, pengamatan kebocoran pasta semen, serta pengukuran waktu perakitan dan pembongkaran. Pengujian beberapa siklus penggunaan diperlukan untuk menilai kondisi sambungan baut, kemudahan pelepasan benda uji, kebutuhan *release agent*, perlindungan antikarat, dan keawetan fungsi sebelum prototipe diterapkan secara rutin pada praktikum.

Kontribusi Author

Ubnu Fajar Karimmulloh bertanggung jawab pada konseptualisasi penelitian, koordinasi kegiatan, perancangan cetakan *modular*, supervisi fabrikasi dan pengujian, serta penyusunan laporan dan publikasi. Ananda Dwi Cahyono berkontribusi pada gambar teknis, pendampingan fabrikasi, pengaturan alat laboratorium, dan dokumentasi. Hairul Salam berkontribusi pada fabrikasi, perakitan cetakan, persiapan material, serta pelaksanaan pengujian. Endra Dwi Andika membantu pengecoran, pengambilan data, pengukuran dimensi, dan dokumentasi. Devi Listiana Saputri membantu persiapan material, pencatatan data, pengolahan data awal, dan penyusunan laporan. Seluruh penulis telah membaca dan menyetujui versi akhir naskah.

AI Disclosure Statement

Dalam penyusunan naskah ini, penulis menggunakan ChatGPT untuk membantu penataan struktur artikel, penyesuaian format template, penyuntingan bahasa, dan peningkatan keterbacaan. Penulis memeriksa, memverifikasi, dan menyunting kembali seluruh isi naskah serta bertanggung jawab penuh atas akurasi data, interpretasi, dan versi akhir yang diajukan untuk publikasi.

Acknowlegment

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Negeri Banyuwangi, Jurusan Teknik Sipil, serta Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi yang mendukung kegiatan perancangan, fabrikasi, dokumentasi, dan pengembangan prototipe cetakan *modular* untuk kebutuhan pembelajaran serta penelitian perkerasan kaku.

REFERENSI

Abdul Jawad, M. G., & Albayati, A. H. K. (2025). Investigating fiber reinforcement effects on the *performance* of concrete pavements under repeated load. Engineering, Technology & Applied Science Research, 15(3), 23133–23140. https://doi.org/10.48084/etasr.10663

Eisa, M. S., Basiouny, M. E., & Youssef, A. M. (2024). Experimental and numerical investigation of load-carrying capacity of rigid pavement slabs reinforced with biaxial geogrid. International Journal of Pavement Research and Technology, 17, 1–17.

Gappmaier, P., Reichenbach, S., & Kromoser, B. (2024). Advances in *formwork* automation, structure and materials in concrete construction. Automation in Construction, 105373. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105373

Hameed, R., Tahir, M., Zaib-un-Nisa, Shahzad, S., Kazmi, S. M. S., & Munir, M. J. (2023). Impact of compression casting technique on the mechanical properties of 100% recycled aggregate concrete. Sustainability, 15(10), 8153. https://doi.org/10.3390/su15108153

Li, W., Lin, X., Bao, D. W., & Xie, Y. M. (2022). A review of *formwork* systems for modern concrete construction. Structures, 38, 123–135. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.01.089

Robinson, W. J. (2024). Evaluating the influence of *flexural strength* on rigid pavement *performance* under simulated aircraft traffic. Construction and Building Materials, 432, 138486. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.138486

Xavier, V. H. C., Salles, A. M. S. L. M., Meneghetti, E. M., Maeda, G. H. H., Sousa, A. M. D., Félix, E. F., & Prado, L. P. (2025). Experimental and numerical analyses on the flexural tensile strength of ultra-high-*performance* concrete prisms with and without rice husk ash. Buildings, 15(10), 1635. https://doi.org/10.3390/buildings15101635

Yaowarat, T., Suddeepong, A., Hoy, M., Horpibulsuk, S., Takaikaew, T., Vichitcholchai, N., Arulrajah, A., & Chinkulkijniwat, A. (2021). Improvement of *flexural strength* of concrete pavements using natural rubber latex. Construction and Building Materials, 122704. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122704