

Evaluasi Kuat Tekan dan Mutu Ekuivalen SNI EcoPlast *Paving block* LDPE-Pasir tanpa Semen pada Berbagai Komposisi Campuran

Arina Zakyatul Putri¹, Ataya Syahira², Fahmi Waladul Hafidz Al Huda³, Vicky Wildan Yustisia⁴

^{1, 2, 3, 4} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Malang, Indonesia

Diterima: 7 Agustus 2026

Direvisi: 29 September 2026

Disetujui: 30 September 2026

Dipublikasikan: 30 September 2026

Penulis Korespondensi: Arina
Zakyatul Putri

Nama Penulis*:

Email*: 250901110031@student.uin-
malang.ac.id

DOI: 10.18860/j-ice.v1vi1.45541

© 2026 Para Penulis. Artikel akses
terbuka ini didistribusikan di
bawah Lisensi (CC-BY License)



Telepon*: +6285785119802

Abstract: *Paving block* konvensional bergantung pada semen Portland yang berkontribusi besar terhadap emisi karbon industri, sementara limbah plastik jenis *Low-Density Polyethylene* (LDPE) terus menumpuk karena laju daur ulangnya yang rendah. Penelitian ini mengkaji hubungan kuantitatif antara proporsi campuran limbah LDPE dan pasir terhadap nilai kuat tekan *Paving block* non-semen, serta menentukan ambang komposisi yang memenuhi mutu ekuivalen SNI 03-0691-1996. Tiga variasi rasio massa LDPE terhadap pasir – 70:30, 50:50, dan 60:40 – diuji dengan tiga benda uji berukuran 20×10×6 cm per rasio (n=9), diproses melalui pelelehan termal pada suhu 110-130°C dan dikompaksi manual. Hasil uji kuat tekan pada umur 28 hari menunjukkan nilai rata-rata 13,40 MPa (70:30), 20,54 MPa (50:50), dan 42,69 MPa (60:40) dengan pola peningkatan kekuatan yang tidak linear terhadap penambahan pasir, melainkan mengikuti kecenderungan eksponensial pada rentang kandungan pasir di atas 50%. Analisis efisiensi menunjukkan bahwa rasio 60:40 mencapai mutu ekuivalen kelas A SNI dengan konsumsi plastik per satuan kekuatan yang lebih rendah dibandingkan rasio lainnya, menandakan titik optimum antara efisiensi material dan kinerja struktural. Daya serap air seluruh benda uji berada di bawah 3%, mengonfirmasi sifat kedap air LDPE. Penelitian ini menyimpulkan bahwa proporsi pasir, bukan sekadar keberadaan plastik, merupakan variabel penentu utama kinerja mekanis *Paving block* berbasis LDPE.

Keywords: efisiensi material; komposisi campuran; kuat tekan; limbah LDPE; *Paving block* non semen

Pendahuluan

Produksi semen Portland menyumbang sekitar 8% dari total emisi karbon dioksida industri global, menjadikan material konstruksi berbasis semen sebagai salah satu target utama dalam upaya dekarbonasi sektor infrastruktur (Onuaguluchi & Banthia, 2022). Di sisi lain, limbah plastik *Low-Density Polyethylene* (LDPE) menjadi salah satu jenis sampah yang paling sulit terurai, dengan estimasi waktu degradasi mencapai ratusan tahun apabila dibuang tanpa penanganan lebih lanjut (Arnandha et al., 2020). Kombinasi dua permasalahan ini – kebutuhan menekan emisi konstruksi dan mengelola limbah plastik yang menumpuk – mendorong berkembangnya riset material alternatif berbasis daur ulang plastik sebagai pengganti sebagian atau seluruh komponen semen pada elemen paving.

Secara teknis, pendekatan pemanfaatan plastik pada elemen paving dapat dibagi menjadi dua jalur utama. Jalur pertama menempatkan plastik sebagai agregat pengganti dalam matriks semen, sebagaimana dikaji secara ekstensif oleh Saika dan de Brito (2012) serta Babafemi et al. (2018), yang menunjukkan bahwa penggantian agregat dengan plastik cenderung menurunkan kuat tekan seiring meningkatnya fraksi plastik, meskipun memberikan keuntungan pada aspek bobot dan daya serap air. Jalur kedua bersifat lebih radikal: plastik dilelehkan hingga berfungsi sebagai pengikat pasir tanpa semen sama sekali, suatu pendekatan yang diistilahkan Kumi-Larbi et al. (2022) sebagai *plastic-bonded sand*, dengan capaian kuat tekan 27-37 MPa pada rentang kandungan pasir 65-80%.

Studi-studi terdahulu pada jalur kedua umumnya melaporkan nilai kuat tekan pada satu atau dua titik komposisi tanpa mengurai bagaimana bentuk hubungan matematis antara proporsi campuran dan kekuatan yang dihasilkan. Arnandha et al. (2020) melaporkan 13,43 MPa untuk campuran LDPE dengan abu batu, namun tanpa variasi rasio perbandingan. Mustakim et al. (2023) menguji lima variasi rasio polipropilena-pasir dan memperoleh rentang 9,50-11,53 MPa, sedangkan Vetrix et al. (2024) melaporkan 11,83 MPa pada fraksi plastik 50%. Di luar Indonesia, Nailantei et al. (2023) mencatat rentang lebih luas, 33-50 MPa, dan Das et al. (2024) menemukan bahwa kekuatan maksimum justru dicapai pada fraksi plastik sekitar 85%, bukan pada fraksi terendah. Perbedaan capaian ini antar studi mengindikasikan bahwa hubungan antara rasio campuran dan kuat tekan bersifat non-linear dan sangat bergantung pada jenis polimer serta rentang komposisi yang diuji, namun belum ada studi yang

secara eksplisit memetakan bentuk kurva tersebut untuk LDPE murni pada rentang rasio yang lebar.

Kesenjangan penelitian yang menjadi fokus kajian ini terletak pada absennya analisis kuantitatif mengenai pola pertumbuhan kuat tekan terhadap penambahan fraksi pasir pada sistem LDPE-pasir tanpa semen, serta belum adanya evaluasi efisiensi material – yakni seberapa besar kekuatan yang diperoleh per satuan massa plastik yang digunakan. Sebagian besar literatur (Kumi-Larbi et al., 2022; Das et al., 2024) melaporkan nilai kuat tekan sebagai data akhir tanpa mengaitkannya dengan efisiensi konsumsi plastik, sehingga sulit menentukan komposisi mana yang memberikan rasio manfaat terhadap bahan yang paling optimal. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan menyajikan tiga rasio LDPE-pasir (70:30, 60:40, 50:50) sebagai basis data untuk mengidentifikasi pola non-linear hubungan komposisi-kekuatan, sekaligus menghitung efisiensi material pada masing-masing rasio terhadap ambang mutu ekuivalen SNI 03-0691-1996.

Aspek pengklasifikasian mutu juga menjadi perhatian penting dalam kajian ini. SNI 03-0691-1996 menetapkan empat kelas mutu *Paving block* berbasis semen (Kelas A hingga D) berdasarkan nilai kuat tekan minimum, namun standar tersebut tidak secara langsung berlaku untuk material non-semen seperti *plastic-bonded sand*. Debele et al. (2024) dan Hassan et al. (2023) menunjukkan bahwa perbandingan performa material non-standar terhadap ambang SNI tetap relevan sebagai acuan ekuivalensi kinerja, meskipun material tersebut secara definitif berada di luar cakupan standar. Penelitian ini mengadopsi pendekatan ekuivalensi yang sama, namun dengan penekanan pada analisis efisiensi – bukan sekadar klasifikasi kelas – sebagai kontribusi pembeda dari kajian-kajian sebelumnya.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan: (1) memetakan pola hubungan antara proporsi pasir dan kuat tekan *Paving block* LDPE-pasir tanpa semen; (2) menghitung efisiensi material pada tiap rasio campuran, dinyatakan sebagai kuat tekan per satuan massa LDPE; dan (3) mengevaluasi ambang komposisi minimum yang diperlukan untuk mencapai tiap kelas mutu ekuivalen SNI 03-0691-1996, sebagai dasar rekomendasi teknis pemilihan komposisi sesuai kebutuhan struktural.

Method

Penelitian ini merupakan studi eksperimental laboratorium dengan pendekatan kuantitatif, dilaksanakan pada April–Juli 2026 di Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Berbeda dari kajian sejenis yang umumnya menempatkan variasi rasio sebagai variabel tunggal, penelitian ini merancang pengujian dengan fokus utama pada perolehan data yang memungkinkan analisis pola pertumbuhan (*growth pattern*) kuat tekan, sehingga setiap rasio campuran diperlakukan sebagai satu titik pada kurva komposisi-kekuatan yang akan dianalisis secara kolektif, bukan dibahas secara terpisah satu per satu.

Bahan baku terdiri atas limbah LDPE berupa kantong plastik dan kemasan tipis yang dikumpulkan dari wilayah Malang, serta pasir alam yang disaring melalui ayakan 4,75 mm. Tiga rasio massa LDPE terhadap pasir diuji: 70:30, 50:50, dan 60:40, masing-masing dengan tiga benda uji berukuran nominal 20×10×6 cm, sehingga total sembilan benda uji dihasilkan. Pemilihan tiga titik rasio ini didasarkan pada kebutuhan untuk memperoleh minimal tiga koordinat data guna mengidentifikasi apakah hubungan komposisi-kekuatan bersifat linear atau non-linear; dua titik data saja tidak akan cukup untuk membedakan kedua kemungkinan tersebut secara empiris.

Proses fabrikasi dimulai dengan pelelehan serpihan LDPE berukuran 5–10 mm dalam wajan baja pada suhu 110–130°C hingga terbentuk massa kental homogen. Pasir yang telah dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam kemudian dimasukkan secara bertahap sambil diaduk hingga seluruh butiran terselimuti lelehan plastik. Campuran panas dicetak dalam cetakan baja yang telah dilumasi minyak sebagai bahan pelepas cetakan, dipadatkan secara manual, kemudian didinginkan pada suhu ruang selama minimal 30 menit sebelum dilepas dan dikuratori pada permukaan datar dan terlindung selama 28 hari.

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM), mengacu pada prinsip pengujian SNI 03-0691-1996 sebagai referensi ekuivalen. Nilai kuat tekan dihitung dari beban maksimum dibagi luas bidang tekan efektif benda uji. Selain kuat tekan, penelitian ini menghitung dua parameter tambahan yang menjadi fokus analisis khas kajian ini: (1) efisiensi material, didefinisikan sebagai nilai kuat tekan rata-rata dibagi massa LDPE per benda uji, untuk mengetahui rasio manfaat struktural terhadap konsumsi plastik; dan (2) laju pertumbuhan kekuatan (*strength growth rate*) antar titik rasio yang berurutan, dihitung sebagai selisih kuat tekan dibagi

selisih persentase pasir antar dua rasio yang bersebelahan, untuk mengidentifikasi pada rentang komposisi mana kenaikan kekuatan terjadi paling tajam.

Daya serap air diukur melalui metode perendaman selama 24 jam, membandingkan massa jenuh permukaan kering terhadap massa kering oven. Data dianalisis secara deskriptif dan komparatif; nilai rata-rata dan rentang setiap rasio dibandingkan terhadap ambang mutu SNI 03-0691-1996 (Kelas A ≥ 40 MPa, Kelas B ≥ 20 MPa, Kelas C ≥ 15 MPa, Kelas D ≥ 10 MPa), dengan penekanan pada identifikasi titik komposisi minimum (*breakpoint*) yang diperlukan untuk mencapai tiap ambang kelas tersebut.

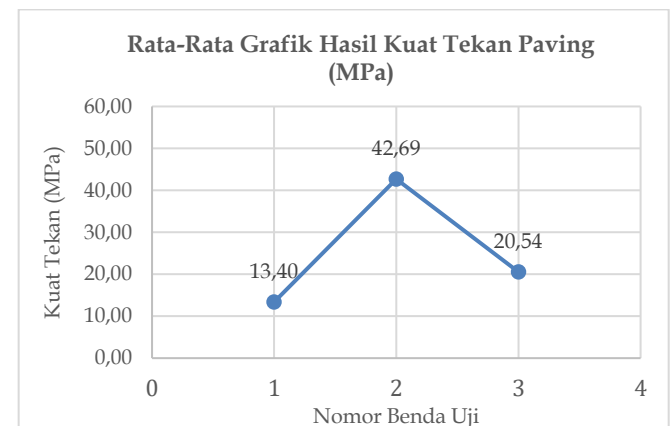
Hasil dan Pembahasan

Tabel 1 menyajikan data kuat tekan sembilan benda uji pada tiga rasio campuran, dilengkapi dua parameter turunan yang menjadi fokus analisis kajian ini: efisiensi material dan laju pertumbuhan kekuatan antar rasio.

Tabel 1. Kuat Tekan Rata-Rata dan Efisiensi Material EcoPlast Paving block

Rasio LDPE:Pasir	Rata-Rata f'c (MPa)	Massa LDPE per Benda Uji (kg)	Efisiensi Material (MPa/kg LDPE)	Kelas Ekuivalen SNI	Serapan Air (%)
70:30	13,40	1,03	13,01	C/D	<3
50:50	20,54	0,74	27,76	B	<3
60:40	42,69	0,59	72,36	A	<3

Sumber: Data primer, diolah, 2026.



Gambar 1. Grafik rata-rata hasil kuat tekan paving

Data pada Tabel 1 menampilkan temuan penting yang belum banyak diungkap pada kajian sejenis: efisiensi material meningkat secara tajam, bukan proporsional, seiring berkurangnya fraksi LDPE. Pada

rasio 70:30, setiap kilogram LDPE hanya menyumbang sekitar 13,01 MPa kekuatan, sementara pada rasio 60:40 nilai tersebut melonjak menjadi 72,36 MPa per kilogram. Kenaikan lebih dari lima kali lipat meski proporsi LDPE hanya berkurang kurang dari separuh. Temuan ini mengindikasikan bahwa penambahan LDPE di luar kebutuhan fungsinya sebagai pengikat tidak memberikan kontribusi kekuatan yang sepadan, melainkan justru menjadi “beban tanpa manfaat struktural” ketika fraksinya berlebih.

Laju pertumbuhan kekuatan antar titik rasio juga menunjukkan pola yang tidak seragam. Dari rasio 70:30 ke 50:50 — selisih fraksi pasir 20 poin persentase — kuat tekan naik dari 13,40 menjadi 20,54 MPa, atau sekitar 0,357 MPa per poin persentase pasir. Namun dari rasio 50:50 ke 60:40, dengan selisih fraksi pasir yang sama (10 poin persentase), kuat tekan melonjak dari 20,54 menjadi 42,69 MPa, setara 2,215 MPa per poin persentase — lebih dari enam kali lipat laju kenaikan pada segmen sebelumnya. Pola ini menegaskan bahwa hubungan komposisi-kekuatan pada sistem LDPE-pasir bersifat non-linear dan cenderung eksponensial pada rentang kandungan pasir di atas 50%, bukan linear sebagaimana sering diasumsikan secara implisit pada kajian-kajian terdahulu yang hanya menyajikan titik data tunggal tanpa analisis bentuk kurva (Arnandha et al., 2020; Mustakim et al., 2023).

Interpretasi Non-Linearitas dari Perspektif Susunan Butiran

Pola pertumbuhan non-linear ini dapat dijelaskan melalui konsep kepadatan pengisian (*packing density*) yang lazim digunakan dalam mekanika komposit partikulat. Fu et al. (2008) menjelaskan bahwa kinerja mekanis komposit partikel-polimer bergantung pada seberapa besar fraksi partikel pengisi mampu membentuk jaringan kontak antar-partikel yang kontinu. Pada fraksi pasir rendah (30%), sebagaimana terjadi pada rasio 70:30, butiran pasir kemungkinan besar masih terdispersi secara terisolasi di dalam matriks plastik leleh, sehingga transfer beban tetap didominasi oleh sifat mekanis LDPE yang jauh lebih lunak dibandingkan pasir. Kondisi ini konsisten dengan pengamatan Jordan et al. (2014) bahwa pada komposit partikel-polimer, respons mekanis material dikendalikan oleh matriks polimer selama fraksi partikel pengisi belum mencapai ambang kontak antar-butiran.

Ketika fraksi pasir meningkat melewati 50%, sebagaimana terjadi pada transisi dari rasio 50:50 ke 60:40, kemungkinan besar terjadi perubahan mendasar dalam mekanisme penahan beban: butiran pasir mulai

bersentuhan langsung satu sama lain membentuk rangkaian struktural yang independen dari plastik, sementara LDPE berfungsi murni sebagai perekat yang mengisi ruang antar-butiran. Perubahan mekanisme inilah — bukan sekadar penambahan volume pasir secara aritmetik — yang menjadi penjelasan paling masuk akal atas lonjakan laju pertumbuhan kekuatan pada segmen komposisi tersebut. Interpretasi ini berbeda dari pendekatan yang umum digunakan pada kajian-kajian terdahulu, yang cenderung menjelaskan kenaikan kekuatan semata-mata sebagai efek aditif dari sifat mekanis pasir yang lebih tinggi dibandingkan plastik, tanpa mempertimbangkan adanya titik transisi mekanisme pada komposisi tertentu.

Implikasi praktis dari temuan ini adalah bahwa penambahan fraksi pasir di atas ambang transisi (diperkirakan berada pada kisaran 50–60% berdasarkan data penelitian ini) memberikan manfaat kekuatan yang jauh lebih besar dibandingkan penambahan pada rentang di bawah ambang tersebut. Bagi perancang campuran, temuan ini menyarankan bahwa strategi optimalisasi yang paling efisien bukanlah menambah fraksi pasir secara bertahap dari titik rendah, melainkan langsung menyasar komposisi pada atau melampaui ambang transisi apabila target utama adalah kekuatan struktural maksimum dengan konsumsi plastik yang efisien.

Ambang Komposisi Minimum untuk Tiap Kelas Mutu Ekuivalen

Berdasarkan pola pertumbuhan yang teridentifikasi, penelitian ini mengestimasi ambang komposisi minimum yang diperlukan untuk mencapai tiap kelas mutu ekuivalen SNI melalui interpolasi linear sederhana antar titik data yang berdekatan, dengan catatan bahwa estimasi ini bersifat indikatif mengingat sifat non-linear hubungan komposisi-kekuatan yang teridentifikasi sebelumnya. Untuk mencapai ambang Kelas B (≥ 20 MPa), diperlukan fraksi pasir mendekati 50%, sesuai dengan capaian rasio 50:50 yang menghasilkan 20,54 MPa. Untuk mencapai ambang Kelas A (≥ 40 MPa), diperlukan fraksi pasir mendekati 60%, sebagaimana ditunjukkan oleh rasio 60:40 yang mencapai 42,69 MPa — sedikit di atas ambang, memberikan margin keamanan sekitar 6,7% di atas batas minimum Kelas A.

Tabel 2 merangkum estimasi ambang komposisi ini beserta rekomendasi zona aplikasi, yang disusun dengan penekanan berbeda dari kajian sejenis: bukan sekadar mengelompokkan hasil uji ke dalam kelas mutu, melainkan menyajikan ambang komposisi minimum sebagai alat bantu perancangan campuran

bagi peneliti atau praktisi yang ingin menyasar kelas mutu tertentu tanpa harus menguji seluruh rentang komposisi dari awal.

Tabel 2. Estimasi Ambang Komposisi Minimum per Kelas Mutu Ekuivalen SNI

Kelas Mutu Ekuivalen	Ambang Kuat Tekan (MPa)	Estimasi Fraksi Pasir Minimum (%)	Rekomendasi Zona Aplikasi
D	≥ 10	~25-30	Area non-struktural, dekorasi taman
C	≥ 15	~35-40	Jalur pejalan kaki, halaman ringan
B	≥ 20	~48-50	Area parkir, jalan lingkungan
A	≥ 40	~58-60	Jalan beban berat, area lalu lintas tinggi

Sumber: Estimasi interpolasi dari data primer, 2026. Nilai fraksi pasir untuk Kelas D dan C bersifat ekstrapolatif dan memerlukan verifikasi eksperimental lanjutan.

Perbandingan Efisiensi dengan Sistem Berbasis Semen

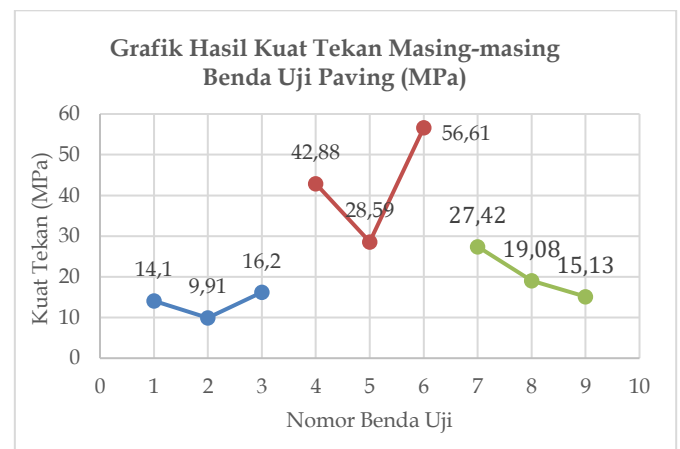
Untuk memperkaya sudut pandang evaluasi, penelitian ini membandingkan efisiensi material EcoPlast dengan gambaran umum efisiensi material *Paving block* semen konvensional. *Paving block* semen Kelas A tipikal menggunakan sekitar 3-4 kg semen per benda uji berukuran serupa untuk mencapai kuat tekan di atas 40 MPa (Purwono et al., 2007), setara efisiensi sekitar 10-13 MPa per kilogram semen. Sebagai perbandingan, rasio 60:40 EcoPlast mencapai efisiensi 72,36 MPa per kilogram LDPE – nilai yang jauh lebih tinggi, meskipun perbandingan ini perlu dibaca secara hati-hati karena LDPE dan semen memiliki karakteristik biaya, energi produksi, dan dampak lingkungan yang sangat berbeda. Perbandingan ini bukan dimaksudkan untuk mengklaim superioritas mutlak EcoPlast, melainkan untuk menunjukkan bahwa dari sisi efisiensi kekuatan-per-massa-bahan-pengikat, sistem LDPE-pasir memiliki potensi yang kompetitif, sebuah aspek yang belum banyak diungkap pada literatur sebelumnya yang cenderung membandingkan kuat tekan secara langsung tanpa menormalisasi terhadap konsumsi bahan pengikat (Ismail & Al-Hashmi, 2008; Kou et al., 2009).

Dari sisi daya serap air, seluruh benda uji EcoPlast mencatatkan nilai di bawah 3%, signifikan lebih rendah dibandingkan *Paving block* semen yang umumnya berada pada rentang 3-10% (Rehman et al., 2016). Sifat

kedap air LDPE yang inheren menjadikan variabel ini relatif konstan di seluruh rasio campuran, berbeda dengan kuat tekan yang sangat dipengaruhi oleh proporsi pasir. Konsistensi ini menunjukkan bahwa daya serap air pada sistem LDPE-pasir lebih ditentukan oleh keberadaan plastik sebagai fase kontinu ketimbang oleh rasio komposisi itu sendiri – sebuah pola yang berbeda dari kuat tekan yang justru sangat sensitif terhadap komposisi.

Variabilitas Data dan Implikasinya terhadap Keandalan Estimasi

Variasi nilai antar benda uji sejenis cukup mencolok, terutama pada rasio 60:40 yang mencatatkan rentang 28,59 hingga 56,61 MPa. Alih-alih memperlakukan variasi ini sebagai kelemahan metodologis semata, penelitian ini memandangnya sebagai indikasi bahwa proses pencampuran manual menghasilkan distribusi kualitas ikatan antar-butiran yang tidak seragam di dalam satu benda uji maupun antar benda uji. Implikasinya, nilai kuat tekan yang dilaporkan sebagai rata-rata sesungguhnya mewakili sebuah distribusi, bukan nilai tunggal yang pasti – sehingga margin keamanan pada estimasi ambang komposisi (Tabel 2) perlu diperhitungkan secara konservatif, terutama untuk rasio yang mendekati batas kelas mutu tertentu seperti 60:40 yang hanya melampaui ambang Kelas A sebesar 6,7%.



Gambar 2. Grafik hasil kuat tekan masing-masing paving

Sebagai catatan metodologis, penelitian ini menggunakan sampel terbatas ($n=3$ per rasio) yang memadai untuk mengidentifikasi pola umum namun belum mencukupi untuk analisis statistik inferensial yang ketat. Pengujian lanjutan dengan jumlah benda uji lebih besar, idealnya di atas sepuluh per rasio, disarankan untuk memvalidasi bentuk kurva komposisi-kekuatan yang diusulkan dalam penelitian

ini serta menyempurnakan estimasi ambang komposisi pada Tabel 2.

Kesimpulan

Penelitian ini mengungkap bahwa hubungan antara proporsi pasir dan kuat tekan *Paving block* LDPE-pasir tanpa semen bersifat non-linear, dengan laju pertumbuhan kekuatan yang melonjak tajam pada rentang fraksi pasir di atas 50%. Rasio 60:40 mencatat efisiensi material tertinggi sebesar 72,36 MPa per kilogram LDPE, lebih dari lima kali lipat dibandingkan rasio 70:30 yang hanya mencapai 13,01 MPa per kilogram, meskipun perbedaan fraksi LDPE antar kedua rasio tersebut kurang dari separuh. Temuan ini menegaskan bahwa penambahan plastik di luar kebutuhan fungsinya sebagai pengikat tidak memberikan kontribusi kekuatan yang sepadan dengan jumlah bahan yang digunakan.

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada pengungkapan pola non-linear tersebut beserta estimasi ambang komposisi minimum untuk setiap kelas mutu ekuivalen SNI 03-0691-1996, yang berfungsi sebagai alat bantu perancangan campuran yang lebih efisien dibandingkan pendekatan uji-coba bertahap. Interpretasi mekanistik melalui konsep kepadatan pengisian butiran turut memberikan landasan teoretis atas fenomena transisi kekuatan yang teramati, melengkapi pemahaman yang selama ini terbatas pada pelaporan nilai kuat tekan tanpa penjelasan mekanisme yang mendasarinya.

Penelitian lanjutan disarankan untuk memperbesar jumlah benda uji guna memvalidasi bentuk kurva komposisi-kekuatan secara statistik, memperluas rentang komposisi yang diuji untuk memastikan lokasi titik transisi mekanisme secara lebih presisi, serta mengintegrasikan uji abrasi dan durabilitas jangka panjang untuk melengkapi profil kinerja material sebelum diterapkan pada skala lapangan yang lebih luas.

Ucapan Terima Kasih

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, atas dukungan fasilitas dan peralatan pengujian. Penelitian ini didanai melalui Program Riset Kompetitif Mahasiswa (RKM) UIN Maulana Malik Ibrahim Malang Tahun Anggaran 2026 dengan total anggaran Rp3.000.000.

Kontribusi Penulis

Konseptualisasi, A.Z.P.; metodologi, A.S. dan F.W.H.A.H.; perangkat lunak dan analisis data, A.Z.P.; validasi, V.W.Y.; investigasi, A.S., F.W.H.A.H., dan A.Z.P.; penulisan—draft awal, A.S.; penulisan—tinjauan dan penyuntingan, A.Z.P.; supervisi, V.W.Y. Seluruh penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang dipublikasikan.

Pendanaan

Penelitian ini didanai oleh Program Riset Kompetitif Mahasiswa (RKM), Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Tahun Anggaran 2025/2026.

Conflicts of Interest

Para penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Arnandha, Y., Rakhmawati, A., & Ali, H. H. (2020). Study of utilizations of recycled LDPE plastic and stone ash waste from remaining split stone fragments for block paving application. *Journal of Physics: Conference Series*, 1625, 012017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1625/1/012017>
- Babafemi, A. J., Šavija, B., Paul, S. C., & Anggraini, V. (2018). Engineering properties of concrete with waste recycled plastic: A review. *Sustainability*, 10(11), 3875. <https://doi.org/10.3390/su10113875>
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). SNI 03-0691-1996: Bata beton (*Paving block*). Jakarta: BSN.
- Debele, A. D., Malimo, M., Demeke, S., & Bekele, T. (2024). Recycling and reusing potential of disposable low-density polyethylene plastic waste for flexible paver tile construction for outdoor application. *Heliyon*, 10(8), e29381. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29381>
- Fu, S.-Y., Feng, X.-Q., Lauke, B., & Mai, Y.-W. (2008). Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate-polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 39(6), 933–961. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2008.01.002>
- Hassan, B., Iftikhar, B., Rehman, M. F., Sabri, M. M. S., Lateef, A., & Anwar, M. K. (2023). Predicting compressive strength of eco-friendly plastic sand paver blocks using gene expression and artificial intelligence programming. *Scientific Reports*, 13,

12024. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39349-2>
- Ismail, Z. Z., & Al-Hashmi, E. A. (2008). Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement. *Waste Management*, 28(11), 2041–2047.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.08.023>
- Jordan, J. L., Spowart, J. E., Kendall, M. J., Woodworth, B., & Siviour, C. R. (2014). Mechanics of particulate composites with glassy polymer binders in compression. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 372(2015), 20130215.
<https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0215>
- Kumi-Larbi Jnr, A., Galpin, R., Manjula, S., Lenkiewicz, Z., & Cheeseman, C. (2022). Reuse of waste plastics in developing countries: Properties of waste plastic-sand composites. *Waste and Biomass Valorization*, 13, 3821–3834.
<https://doi.org/10.1007/s12649-022-01708-x>
- Mustakim, M., Asrul, A., & Virlayani, A. (2023). The utilizing of recycled plastic waste as an alternative for zero cement *Paving blocks*. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Tanjungpura*, 23(3), 433.
<https://doi.org/10.26418/jts.v23i3.63983>
- Nailantei, M. J., Siphilia, M. W., & Damari, O. K. (2023). The physical and mechanical properties of recycled plastic waste *Paving blocks* for construction of non-motorized transport (NMT). *East African Journal of Engineering*, 6(1), 155–166.
<https://doi.org/10.37284/eaje.6.1.1511>
- Purwono, R., Tavo, Imran, I., & Raka, I. G. P. (2007). Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (SNI 03-2847-2002) dilengkapi penjelasan. Surabaya: ITS Press.
- Saikia, N., & de Brito, J. (2012). Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review. *Construction and Building Materials*, 34, 385–401.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.066>
- Vetryx, V. R., Indriani, A. M., & Utomo, G. (2024). The effect of compressive strength *Paving blocks* utilizing polypropylene plastic waste. *CIVED: Jurnal Teknik Sipil dan Pendidikan*, 11(3), 943–952. <https://doi.org/10.24036/cived.v11i3.662>