GEAR: *General Engineering & Applied Science Journal, Vol 1 Issues 4, 2026*
E-ISSN: 3124-4092
https://publications.corejurnal.com/index.php/gear/

Pemanfaatan Limbah Plastik, *Styrofoam*, dan Cangkang Telur sebagai Bahan Campuran *Paving Block*

Maksuk[1]*, Lega Bisa Diantara[2], Kemas M. Akmal Prawiro[3], Fitri Rahmadani[4], Muthiah Zhafirah[5], Mutiara Shakina Putri[6], Nandita Prasuci[7]
[1,2,3,4,5,6,7]Poltekkes Kemenkes Palembang, Indonesia
*Email korespondensi: maksuk@poltekkespalembang.ac.id

Abstrak

Pemanfaatan limbah plastik multilayer, *styrofoam*, dan cangkang telur sebagai bahan campuran *paving block* berbasis semen merupakan alternatif pengolahan limbah menjadi material konstruksi. Penelitian ini bertujuan mengetahui kuat tekan awal *paving block* yang menggunakan kombinasi ketiga jenis limbah tersebut dan membandingkan hasilnya dengan persyaratan SNI 03-0691-1996. Penelitian dilakukan melalui eksperimen pendahuluan menggunakan 1.500 g pasir, 700 g semen, 150 g plastik, 50 g *styrofoam*, 100 g serbuk cangkang telur, dan 450 mL air. Sebanyak tujuh benda uji dibuat melalui pencampuran dan pemadatan manual, kemudian dirawat dengan penyiraman selama 14 hari. Pengujian kuat tekan menggunakan *Universal Testing Machine* dilakukan terhadap satu spesimen tanpa pengulangan. Hasil pengujian menunjukkan massa spesimen sebesar 3.397 g, luas bidang tekan yang dilaporkan sebesar 370,27 cm², beban maksimum 278,0 kN, dan kuat tekan 7,51 MPa. Nilai tersebut berada di bawah batas minimum kuat tekan individual mutu D sebesar 8,5 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa campuran limbah dapat dibentuk menjadi *paving block*, tetapi kinerja kuat tekannya masih memerlukan perbaikan formulasi dan pengujian lanjutan dengan jumlah spesimen yang memadai.

Kata kunci: limbah plastik, styrofoam, cangkang telur, paving block, kuat tekan.

The Use of Plastic Waste, Styrofoam, and Eggshells as Additives in Paving Blocks

Abstract

The use of multilayer plastic waste, styrofoam, and eggshells in cement-based paving blocks offers an alternative approach to converting waste into construction materials. This study aimed to determine the initial compressive strength of paving blocks incorporating a combination of these three waste materials and compare the results with the requirements of Indonesian Standard SNI 03-0691-1996. A preliminary experiment was conducted using 1,500 g of sand, 700 g of cement, 150 g of plastic, 50 g of styrofoam, 100 g of eggshell powder, and 450 mL of water. Seven paving blocks were produced through manual mixing and compaction and cured by watering for 14 days. Compressive strength was measured using a Universal Testing Machine on one specimen without replication. The tested specimen had a mass of 3,397 g, a reported loaded area of 370.27 cm², a maximum load of 278.0 kN, and a compressive strength of 7.51 MPa. This value was below the minimum individual compressive strength requirement of 8.5 MPa for Grade D. These findings indicate that the waste mixture can be formed into paving blocks; however, its compressive performance requires formulation improvements and further testing using an adequate number of specimens.

Keywords: *Plastic waste; styrofoam; eggshells; paving blocks; compressive strength.*

PENDAHULUAN

Permasalahan sampah menjadi salah satu tantangan lingkungan yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, aktivitas konsumsi, dan penggunaan material sekali pakai. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), sampah plastik menyumbang sekitar 18,71% dari komposisi sampah nasional pada tahun 2023 dan meningkat menjadi 19,65% pada tahun 2024 (SIPSN, 2024). Plastik merupakan material yang sulit terurai secara alami sehingga dapat terakumulasi di lingkungan apabila tidak dikelola secara tepat. Kondisi tersebut mendorong perlunya pengembangan alternatif pemanfaatan limbah plastik menjadi produk yang memiliki nilai guna, termasuk sebagai bahan penyusun material konstruksi. Saleem et al. (2025) menjelaskan bahwa pemanfaatan kembali limbah plastik merupakan salah satu pendekatan yang dapat mendukung pengurangan dampak pencemaran serta pengelolaan sumber daya secara lebih berkelanjutan.

Selain limbah plastik, styrofoam atau *expanded polystyrene* (EPS) juga menjadi persoalan lingkungan karena memiliki karakteristik ringan, volume relatif besar, dan sulit mengalami degradasi secara biologis. Sriani et al. (2024) menjelaskan bahwa limbah EPS memiliki peluang untuk dimanfaatkan kembali melalui pengolahan menjadi material yang memiliki fungsi baru. Di sisi lain, limbah cangkang telur yang berasal dari aktivitas rumah tangga dan industri pangan juga memiliki potensi pemanfaatan karena mengandung mineral yang didominasi oleh kalsium karbonat ($CaCO_3$). Menurut Chong et al. (2024), serbuk cangkang telur berpotensi digunakan sebagai alternatif bahan pengisi mineral dalam sistem semen Portland. Perbedaan karakteristik antara plastik, styrofoam, dan cangkang telur membuka peluang pemanfaatan ketiganya sebagai komponen campuran material konstruksi berbasis semen.

Salah satu produk konstruksi yang berpotensi dikembangkan melalui pemanfaatan limbah adalah paving block. Material ini banyak digunakan untuk perkerasan halaman, taman, trotoar, dan fasilitas luar ruang karena memiliki bentuk yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan serta proses pembuatan yang relatif sederhana. Pemanfaatan limbah sebagai bahan campuran paving block dapat menjadi alternatif penggunaan material nonkonvensional sekaligus memberikan nilai tambah terhadap bahan buangan. Uvarajan et al. (2021) menjelaskan bahwa berbagai jenis limbah plastik telah dimanfaatkan dalam pembuatan bata dan paving block, baik sebagai bahan pengikat maupun sebagai pengganti sebagian agregat. Penelitian Agyeman et al. (2019) juga menunjukkan bahwa limbah plastik dapat digunakan sebagai bahan pengikat alternatif dalam pembuatan paving block, dengan karakteristik mekanik yang dipengaruhi oleh komposisi campuran. Sementara itu, Agrawal et al. (2023) mengemukakan bahwa perbandingan antara limbah plastik dan material agregat berperan penting dalam menentukan kekuatan serta karakteristik produk yang dihasilkan.

Pemanfaatan styrofoam dalam material konstruksi juga telah dikaji pada penelitian sebelumnya. Solikin et al. (2019) menunjukkan bahwa styrofoam dapat digunakan sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam pembuatan material beton ringan. Penelitian Ardiatma et al. (2025) juga mengembangkan paving block dengan memanfaatkan limbah styrofoam dan campuran *silica fume*, yang menghasilkan karakteristik kuat tekan berbeda bergantung pada ukuran partikel dan komposisi bahan. Selain itu, Abdel-Jaber et al. (2023) melaporkan bahwa penggunaan butiran EPS dapat memengaruhi densitas dan kuat tekan beton. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa pemanfaatan styrofoam telah memiliki dasar empiris, tetapi karakteristik mekanik material yang dihasilkan tetap dipengaruhi oleh sistem pengikat, proporsi bahan, dan proses pembuatannya.

Berbeda dengan material polimer, cangkang telur memiliki karakteristik mineral yang memungkinkan penggunaannya sebagai bahan pengisi pada campuran berbasis semen. Kandungan kalsium karbonat dalam cangkang telur memiliki kemiripan dengan bahan pengisi berbasis batu kapur yang digunakan dalam industri semen. Chong et al. (2024) menjelaskan bahwa pemanfaatan serbuk cangkang telur sebagai alternatif bahan pengisi pada semen Portland dipengaruhi oleh karakteristik partikel dan proporsi penambahannya. Penelitian Tassa et al. (2025) juga telah mengkaji kombinasi limbah kemasan plastik berlapis logam dan serbuk cangkang telur sebagai bahan substitusi parsial dalam paving block.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan kombinasi limbah polimer dan mineral telah menjadi bagian dari pengembangan material konstruksi alternatif.

Berbagai penelitian terdahulu tersebut memperlihatkan bahwa limbah plastik, styrofoam, dan serbuk cangkang telur telah dikaji sebagai bahan alternatif dalam produk konstruksi, baik secara terpisah maupun dalam kombinasi tertentu. Namun, penelitian-penelitian tersebut menggunakan jenis bahan, formulasi, sistem pengikat, serta kondisi produksi yang berbeda. Berdasarkan literatur yang dikaji, informasi mengenai kuat tekan awal paving block berbasis semen yang secara bersamaan menggunakan cacahan plastik multilayer, potongan styrofoam, dan serbuk cangkang telur dalam satu formulasi masih terbatas. Penelitian terdahulu lebih banyak memberikan informasi mengenai karakteristik masing-masing bahan atau kombinasi tertentu, sedangkan hasil pengujian awal pada formulasi yang memadukan ketiga limbah tersebut belum tergambarkan secara memadai dalam literatur yang dibahas. Kesenjangan informasi ini menunjukkan perlunya dokumentasi empiris mengenai proses pembuatan dan karakteristik kuat tekan awal dari campuran ketiga jenis limbah dalam paving block berbasis semen.

Kontribusi ilmiah penelitian ini terletak pada penyediaan data eksperimental awal mengenai pembuatan dan kuat tekan paving block berbasis semen yang menggabungkan tiga jenis limbah dengan karakteristik berbeda, yaitu plastik multilayer sebagai material polimer, styrofoam sebagai komponen ringan, dan serbuk cangkang telur sebagai bahan pengisi mineral. Penggunaan ketiga bahan dalam satu formulasi memberikan informasi awal mengenai karakteristik mekanik produk yang dihasilkan melalui pencampuran dan pemadatan manual. Kontribusi tersebut menjadi dasar bagi pengembangan formulasi dan evaluasi sifat material yang lebih mendalam, khususnya dalam upaya pemanfaatan limbah sebagai bahan alternatif konstruksi. Penelitian ini tidak dimaksudkan untuk membuktikan peningkatan kekuatan akibat penambahan limbah, melainkan untuk memperoleh informasi awal mengenai hasil kuat tekan formulasi yang digunakan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan proses pembuatan dan menentukan kuat tekan awal paving block berbasis semen yang menggunakan kombinasi limbah plastik multilayer, styrofoam, dan serbuk cangkang telur, serta membandingkan hasil pengujiannya secara deskriptif dengan persyaratan kuat tekan berdasarkan SNI 03-0691-1996. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi empiris awal sebagai dasar pengembangan material paving block berbahan limbah dengan karakteristik mekanik yang lebih sesuai terhadap persyaratan teknis.

2. METODE

2.1 Desain dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini merupakan eksperimen laboratorium pendahuluan yang bertujuan untuk memperoleh gambaran awal kuat tekan paving block berbasis semen dengan campuran limbah plastik, styrofoam, dan serbuk cangkang telur. Kegiatan pembuatan benda uji dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Palembang pada Juni 2026, sedangkan pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan fasilitas laboratorium pengujian material.

Penelitian menggunakan satu formulasi campuran tanpa kelompok kontrol, tanpa variasi komposisi, dan tanpa pengulangan pengujian kuat tekan. Sebanyak tujuh paving block dibuat menggunakan prosedur pencampuran serta pemadatan manual. Dari jumlah tersebut, satu paving block diuji untuk mengetahui kuat tekan awal. Dengan desain tersebut, hasil penelitian dianalisis secara deskriptif dan tidak digunakan untuk melakukan pengujian hipotesis statistik.

2.2 Bahan dan Komposisi Campuran

Bahan utama yang digunakan meliputi pasir halus, semen Portland, limbah plastik multilayer, styrofoam, serbuk cangkang telur, dan air bersih. Plastik multilayer diperoleh dari kemasan bekas sampo, mi instan, detergen, pewangi pakaian, kopi saset, dan kemasan sejenis. Plastik dipilah,

dibersihkan, dikeringkan, kemudian dicacah menggunakan gunting hingga menghasilkan potongan tidak beraturan berukuran sekitar 5–15 mm.

Styrofoam dipotong secara manual menjadi butiran atau potongan tidak beraturan berukuran sekitar 5–10 mm. Cangkang telur dibersihkan dari sisa bahan organik, dikeringkan, dan dihaluskan menggunakan mesin penggiling (grinder) hingga berbentuk serbuk. Serbuk tersebut digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran. Distribusi ukuran partikel serbuk cangkang telur tidak diuji secara kuantitatif.

Komposisi bahan yang dicantumkan dalam rancangan campuran ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi bahan paving block

Bahan	Jumlah
Pasir Halus	1.500 G
Semen Portland	700 G
Plastik Multilayer	150 G
Styrofoam	50 G
Serbuk Cangkang Telur	100 G
Air Bersih	450 Ml

Sumber: Data primer penelitian, 2026.

Formulasi tersebut terdiri atas bahan kering dengan jumlah nominal 2.500 g dan air sebanyak 450 mL. Penelitian tidak menggunakan variasi proporsi bahan sehingga tidak dilakukan perbandingan antarformulasi.

2.3 Alat dan Dimensi Cetakan

Peralatan yang digunakan meliputi timbangan, gelas ukur, ayakan pasir, gunting, mesin penggiling cangkang telur, wadah pencampuran, alat pengaduk, cetakan heksagonal, dan alat press manual.

Berdasarkan dokumen pembuatan, cetakan berbentuk segi enam beraturan dengan panjang masing-masing sisi sekitar 11,94 cm, jarak antara sudut berhadapan 23,88 cm, jarak antara sisi sejajar 20,68 cm, dan tinggi 5,70 cm. Luas penampang nominal yang dicantumkan sebesar 370,27 cm^2 dengan volume geometris 2.110,54 cm^3. Dimensi cetakan dan dimensi spesimen yang dicatat laboratorium dilaporkan secara terpisah karena keduanya merupakan informasi yang berasal dari tahap pengukuran berbeda.

2.4 Prosedur Pembuatan Paving Block

Pembuatan paving block dilakukan melalui tahapan persiapan bahan, pencampuran, pencetakan, pemadatan, dan perawatan.

Pada tahap persiapan, pasir terlebih dahulu diayak untuk memisahkan kerikil berukuran besar, kotoran organik, dan material asing. Limbah plastik multilayer dan styrofoam dibersihkan serta dipotong sesuai ukuran yang telah ditentukan. Cangkang telur dicuci, dikeringkan, dan dihaluskan hingga diperoleh serbuk.

Selanjutnya, semen, pasir, dan serbuk cangkang telur dimasukkan ke dalam wadah pencampuran, kemudian diaduk secara manual. Setelah bahan kering tercampur, cacahan plastik dan potongan styrofoam ditambahkan secara bertahap sambil dilakukan pengadukan untuk membantu penyebaran seluruh komponen.

Air sebanyak 450 mL ditambahkan secara bertahap hingga terbentuk campuran dengan konsistensi plastis-lembap yang memungkinkan proses pencetakan. Adukan kemudian dimasukkan ke dalam cetakan berbentuk heksagonal yang telah dibersihkan dan dilapisi minyak tipis sebagai bahan pelepas cetakan.

Pemadatan dilakukan menggunakan alat press manual dengan pemberian tekanan secara bertahap dan merata. Setelah proses pemadatan, paving block dilepaskan dari cetakan secara hati-hati dan ditempatkan pada permukaan datar untuk mempertahankan bentuk serta mengurangi risiko kerusakan pada bagian tepi.

2.5 Perawatan Benda Uji

Paving block yang telah dicetak didiamkan selama 24 jam di tempat yang terlindung dari paparan sinar matahari langsung. Setelah itu, benda uji dirawat melalui penyiraman air setiap hari selama 14 hari. Perawatan ini dilakukan untuk mempertahankan kelembapan material selama proses pengerasan berbasis hidrasi semen.

Setelah tahap perawatan selesai, benda uji disiapkan untuk pemeriksaan fisik dan pengujian kuat tekan.

2.6 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan terhadap satu paving block menggunakan Universal Testing Machine (UTM). Alat tersebut digunakan untuk memberikan beban tekan pada benda uji hingga mencapai kondisi kegagalan atau beban maksimum.

Parameter yang dicatat meliputi dimensi benda uji, luas penampang tekan, massa spesimen, beban maksimum, dan kuat tekan. SNI 03-0691-1996 tentang Bata Beton (Paving Block) digunakan sebagai acuan pembanding untuk menginterpretasikan nilai kuat tekan yang diperoleh.

Secara umum, kuat tekan dinyatakan sebagai perbandingan beban maksimum terhadap luas penampang tekan:

$$[f_c = \frac{P}{A}]$$

Keterangan:

1) (f_c) = kuat tekan (MPa atau N/mm²)
2) (P) = beban maksimum (N)
3) (A) = luas penampang tekan (mm²)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Fisik Paving Block

Proses pembuatan menghasilkan tujuh paving block berbentuk heksagonal dengan campuran pasir, semen Portland, plastik multilayer, styrofoam, dan serbuk cangkang telur. Berdasarkan pengamatan visual, paving block yang dihasilkan memiliki bentuk relatif utuh sesuai cetakan, permukaan cukup rata, serta bagian sudut yang tidak menunjukkan kerusakan secara langsung. Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa kombinasi ketiga jenis limbah dapat dicampurkan dengan bahan penyusun konvensional dan dibentuk menjadi paving block melalui proses pencampuran serta pemadatan manual.

Gambar 1. Hasil cetakan paving block berbahan campuran limbah plastik, styrofoam, dan serbuk cangkang telur.



Hasil pengamatan ini sejalan dengan penelitian Uvarajan et al. (2021) yang mengemukakan bahwa limbah plastik dapat dimanfaatkan dalam pembuatan bata dan paving block dengan memperhatikan karakteristik bahan serta proses pembentukannya. Penelitian Solikin et al. (2019) juga menunjukkan bahwa styrofoam dapat digunakan sebagai komponen pengganti sebagian agregat halus dalam material konstruksi berbasis semen. Sementara itu, Chong et al. (2024) menjelaskan bahwa serbuk cangkang telur memiliki potensi sebagai bahan pengisi mineral dalam sistem semen Portland. Ketiga penelitian tersebut memberikan dasar ilmiah bagi penggunaan material limbah dengan karakteristik berbeda dalam pengembangan produk konstruksi.

Cetakan yang digunakan memiliki bentuk heksagonal dengan panjang setiap sisi sebesar 11,94 cm, jarak sudut berhadapan 23,88 cm, jarak sisi sejajar berhadapan 20,68 cm, dan tinggi 5,70 cm. Adapun laporan laboratorium mencatat dimensi benda uji sebesar 11,30 cm dan ketebalan 5,70 cm. Perbedaan pencatatan dimensi tersebut perlu dibedakan berdasarkan parameter pengukuran cetakan dan spesimen, sedangkan luas penampang yang digunakan pada perhitungan kuat tekan mengikuti nilai yang dilaporkan laboratorium.

Secara keseluruhan, karakteristik fisik yang diamati menunjukkan bahwa campuran limbah dapat dibentuk menjadi paving block melalui prosedur produksi yang digunakan. Namun, kesesuaian bentuk dan kondisi permukaan belum cukup untuk menggambarkan karakteristik mekanik sehingga diperlukan pengujian kuat tekan untuk memperoleh informasi kuantitatif mengenai kemampuan material dalam menerima beban.

3.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan

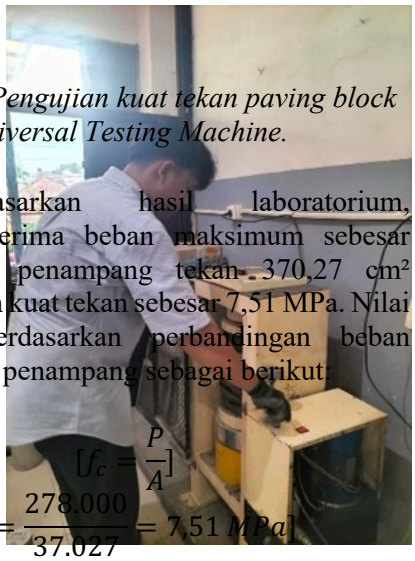
Pengujian kuat tekan dilakukan terhadap satu dari tujuh paving block yang dihasilkan menggunakan Universal Testing Machine (UTM). Pengujian bertujuan memperoleh informasi awal mengenai kemampuan spesimen dalam menerima beban tekan hingga mencapai beban maksimum. Parameter hasil pengujian meliputi dimensi, luas penampang, massa benda uji, beban maksimum, dan kuat tekan sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian kuat tekan paving block

Parameter	Hasil
Jumlah paving block yang dibuat	7 buah
Jumlah spesimen yang diuji tekan	1 buah
Dimensi tercatat pada laporan uji	11,30 cm
Ketebalan	5,70 cm
Luas penampang tekan	370,27 cm^2
Massa benda uji	3.397 g

Beban maksimum	278,0 kN
Kuat tekan	76,56 kgf/cm²
Kuat tekan	7,51 MPa

Sumber: Hasil pengujian laboratorium, 2026.





Gambar 2. Pengujian kuat tekan paving block menggunakan Universal Testing Machine.

Berdasarkan hasil laboratorium, spesimen mampu menerima beban maksimum sebesar 278,0 kN dengan luas penampang tekan 370,27 cm² sehingga menghasilkan kuat tekan sebesar 7,51 MPa. Nilai tersebut diperoleh berdasarkan perbandingan beban maksimum terhadap luas penampang sebagai berikut:

$$[f_c = \frac{P}{A}]$$

$$[f_c = \frac{278.000}{37.027} = 7{,}51\ MPa]$$

Hasil tersebut menunjukkan karakteristik kuat tekan awal dari formulasi paving block yang mengandung plastik multilayer, styrofoam, dan serbuk cangkang telur. Nilai yang diperoleh merupakan hasil satu spesimen sehingga digunakan sebagai informasi deskriptif mengenai kinerja mekanik formulasi yang diuji.

Temuan ini relevan dengan penelitian Agyeman et al. (2019) yang menunjukkan bahwa limbah plastik dapat digunakan sebagai bahan penyusun paving block, dengan kuat tekan yang bergantung pada komposisi serta sistem pengikatan material. Penelitian Agrawal et al. (2023) juga menjelaskan bahwa perbandingan bahan penyusun menjadi faktor penting dalam menentukan karakteristik mekanik paving block berbahan limbah plastik. Keselarasan kedua penelitian tersebut terletak pada pentingnya karakteristik campuran dalam pembentukan kuat tekan, meskipun jenis bahan pengikat dan formulasi yang digunakan berbeda.

Dengan demikian, hasil pengujian sebesar 7,51 MPa memberikan data empiris awal mengenai kemampuan satu spesimen paving block berbahan kombinasi limbah dalam menerima beban tekan. Penilaian terhadap kecukupan nilai tersebut selanjutnya dilakukan melalui perbandingan dengan persyaratan teknis yang berlaku.

3.3 Perbandingan Kuat Tekan dengan SNI 03-0691-1996

Hasil kuat tekan yang diperoleh dibandingkan dengan ketentuan SNI 03-0691-1996 tentang Bata Beton (Paving Block). Standar tersebut mengelompokkan paving block berdasarkan mutu dan penggunaan, termasuk mutu D yang diperuntukkan bagi taman dan penggunaan lain yang sesuai dengan klasifikasinya. Pada mutu D, persyaratan kuat tekan rata-rata adalah 10 MPa, sedangkan kuat tekan minimum individual sebesar 8,5 MPa.

Tabel 3. Perbandingan hasil pengujian dengan persyaratan kuat tekan mutu D

Parameter	**Nilai**
Kuat tekan spesimen penelitian	7,51 MPa

Kuat tekan minimum individual mutu D	8,50 MPa
Kuat tekan rata-rata mutu D	10,00 MPa
Selisih terhadap batas minimum individual	0,99 MPa
Hasil perbandingan	Di bawah batas minimum individual

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan spesimen sebesar 7,51 MPa berada 0,99 MPa di bawah persyaratan minimum individual mutu D. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa spesimen yang diuji belum mencapai nilai kuat tekan minimum yang digunakan sebagai acuan. Oleh karena itu, pengembangan formulasi dan pengendalian proses produksi masih diperlukan untuk memperoleh karakteristik mekanik yang lebih sesuai dengan persyaratan standar.

Hasil ini dapat dibahas bersama temuan Agrawal et al. (2023) yang menunjukkan bahwa kuat tekan paving block berbahan limbah plastik berkaitan dengan komposisi campuran. Hal serupa ditunjukkan dalam penelitian Abdel-Jaber et al. (2023), yang menemukan adanya hubungan antara penggunaan material EPS, densitas, dan kuat tekan beton. Kedua penelitian tersebut memperlihatkan bahwa karakteristik mekanik produk konstruksi dengan bahan alternatif perlu dievaluasi berdasarkan proporsi dan sifat masing-masing material.

Selain kuat tekan, benda uji mempunyai ketebalan 5,70 cm atau 57 mm, yang berada di bawah ketebalan nominal minimum 60 mm yang dibahas dalam persyaratan dimensi SNI. Penilaian akhir terhadap kesesuaian ukuran tetap perlu mengacu pada ketentuan toleransi dan prosedur pengukuran standar.

Perbandingan tersebut memberikan gambaran posisi hasil pengujian terhadap persyaratan teknis. Karena pengujian dilakukan terhadap satu benda uji, hasilnya digunakan untuk mengevaluasi spesimen tersebut dan belum merupakan penilaian kesesuaian mutu seluruh produk yang dihasilkan.

3.4 Hubungan Karakteristik Limbah Plastik dengan Kuat Tekan

Plastik multilayer yang digunakan dalam penelitian berasal dari kemasan bekas produk rumah tangga dan dicacah menjadi potongan tidak beraturan berukuran sekitar 5–15 mm. Dalam formulasi campuran, plastik digunakan sebanyak 150 g sebagai komponen tambahan pada material berbasis semen. Karakteristik plastik yang berbeda dengan agregat mineral berpotensi memengaruhi susunan partikel dan interaksi antarkomponen dalam paving block.

Hal ini sejalan dengan penelitian Uvarajan et al. (2021) yang menjelaskan bahwa penggunaan limbah plastik dalam bata dan paving block perlu mempertimbangkan jenis polimer, komposisi bahan, serta teknik produksinya. Sifat plastik yang berbeda dengan agregat mineral dapat menghasilkan karakteristik mekanik yang bervariasi, bergantung pada sistem pengikat dan susunan material yang terbentuk.

Penelitian Agyeman et al. (2019) menunjukkan bahwa limbah plastik dapat berfungsi sebagai bahan pengikat alternatif dalam pembuatan paving block. Akan tetapi, pemanfaatan plastik sebagai pengikat memiliki mekanisme pembentukan kekuatan yang berbeda dibandingkan dengan penggunaan cacahan plastik dalam matriks semen. Dalam penelitian ini, semen Portland tetap berfungsi sebagai bahan pengikat utama, sedangkan plastik multilayer merupakan salah satu komponen campuran.

Temuan Agrawal et al. (2023) turut memperkuat pentingnya pengendalian komposisi dan rasio material dalam menghasilkan paving block dengan karakteristik mekanik yang sesuai. Pada formulasi penelitian ini, ukuran cacahan plastik yang relatif kasar memungkinkan partikel plastik menempati bagian tertentu dalam matriks semen. Secara teoritis, distribusi cacahan dan kualitas ikatan antarmuka antara plastik dan pasta semen dapat memengaruhi kemampuan material dalam mentransfer tegangan.

Kuat tekan sebesar 7,51 MPa yang diperoleh dalam penelitian ini mencerminkan respons mekanik keseluruhan campuran, sehingga belum dapat digunakan untuk menentukan kontribusi plastik secara

terpisah. Meskipun demikian, hasil tersebut memberikan informasi awal mengenai karakteristik paving block berbasis semen yang mengandung plastik multilayer bersama bahan limbah lainnya.

3.5 Peran Styrofoam terhadap Karakteristik Campuran

Styrofoam atau expanded polystyrene (EPS) digunakan sebanyak 50 g dengan ukuran potongan sekitar 5–10 mm. Material ini memiliki struktur ringan dengan densitas relatif rendah dibandingkan agregat mineral. Karakteristik tersebut menjadikan styrofoam berpotensi digunakan sebagai komponen campuran material konstruksi berbasis semen, tetapi penggunaannya juga perlu memperhatikan karakteristik mekanik produk.

Hal ini sejalan dengan penelitian Solikin et al. (2019) yang menunjukkan bahwa styrofoam dapat dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam pembuatan material beton ringan. Penggunaan styrofoam memungkinkan perubahan karakteristik massa jenis material karena sifat EPS yang berbeda dengan agregat konvensional.

Penelitian Abdel-Jaber et al. (2023) juga menunjukkan bahwa penambahan EPS memengaruhi densitas dan kuat tekan beton setelah proses pengerasan. Temuan tersebut didukung oleh Salahaldeen dan Al-Hadithi (2022) yang melaporkan bahwa penggunaan butiran EPS berkaitan dengan perubahan sifat mekanik beton. Kedua penelitian tersebut memberikan landasan bahwa proporsi material ringan merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam pengembangan campuran berbasis semen.

Pada penelitian ini, styrofoam digunakan bersama plastik multilayer dan serbuk cangkang telur dalam satu formulasi. Perbedaan massa jenis serta karakteristik deformasi antara styrofoam dan agregat mineral secara teoritis dapat memengaruhi distribusi tegangan dalam matriks material. Selain itu, proporsi styrofoam berdasarkan massa tidak secara langsung mencerminkan fraksi volumenya karena sifat material yang ringan.

Hasil kuat tekan sebesar 7,51 MPa memberikan gambaran awal mengenai karakteristik mekanik campuran yang mengandung styrofoam. Namun, karena seluruh bahan digunakan secara bersamaan, hasil tersebut tidak dapat digunakan untuk menyimpulkan bahwa styrofoam merupakan penyebab langsung dari nilai kuat tekan yang diperoleh.

Dengan demikian, penggunaan styrofoam dalam kombinasi limbah perlu dipertimbangkan bersama karakteristik bahan lainnya, terutama melalui pengendalian proporsi, ukuran partikel, dan homogenitas campuran.

3.6 Potensi Serbuk Cangkang Telur sebagai Bahan Pengisi

Serbuk cangkang telur digunakan dalam penelitian sebanyak 100 g sebagai salah satu komponen campuran paving block. Bahan ini diperoleh melalui proses pembersihan, pengeringan, dan penghalusan menggunakan mesin penggiling hingga menghasilkan serbuk bertekstur halus. Pemanfaatan cangkang telur sebagai bahan pengisi didasarkan pada kandungan mineralnya, terutama kalsium karbonat, yang memiliki kemiripan dengan bahan pengisi berbasis batu kapur dalam material semen.

Hal ini sejalan dengan penelitian Chong et al. (2024) yang menunjukkan bahwa serbuk cangkang telur memiliki potensi sebagai alternatif bahan pengisi mineral dalam semen Portland. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa karakteristik partikel dan kadar penambahan merupakan faktor yang berhubungan dengan interaksi serbuk cangkang telur dalam sistem berbasis semen.

Secara teoritis, serbuk mineral dengan ukuran partikel yang sesuai dapat mengisi sebagian ruang antarpartikel dan memengaruhi susunan matriks. Akan tetapi, karakteristik tersebut sangat bergantung pada tingkat kehalusan, homogenitas distribusi, dan proporsi bahan pengisi dalam campuran.

Dalam penelitian ini, serbuk cangkang telur dikombinasikan dengan plastik multilayer dan styrofoam sehingga membentuk campuran yang mengandung komponen mineral dan polimer dengan sifat berbeda. Penggunaan serbuk cangkang telur memungkinkan bahan limbah organik-mineral tersebut dimanfaatkan dalam proses pembuatan paving block.

Hasil pengujian kuat tekan sebesar 7,51 MPa merupakan karakteristik mekanik dari keseluruhan formulasi. Karena tidak dilakukan pengujian terhadap variasi kadar serbuk cangkang telur maupun karakterisasi ukuran partikel secara kuantitatif, kontribusi khusus serbuk cangkang telur terhadap kuat tekan belum dapat dipastikan.

Temuan ini memperlihatkan potensi pemanfaatan cangkang telur sebagai komponen campuran paving block, sekaligus memberikan dasar untuk mengevaluasi proporsi dan tingkat kehalusan bahan pengisi pada pengembangan selanjutnya.

3.7 Keterkaitan Formulasi, Pemadatan, dan Perawatan dengan Kuat Tekan

Kuat tekan paving block berbasis semen dipengaruhi oleh hubungan antara karakteristik bahan, perbandingan campuran, proses pencampuran, tingkat pemadatan, serta kondisi perawatan. Dalam penelitian ini, campuran terdiri atas pasir 1.500 g, semen Portland 700 g, plastik multilayer 150 g, styrofoam 50 g, serbuk cangkang telur 100 g, dan air 450 mL. Seluruh bahan dicampurkan secara manual, dipadatkan menggunakan alat press manual, kemudian menjalani perawatan melalui penyiraman air setiap hari selama 14 hari.

Hal ini berkaitan dengan penelitian Agrawal et al. (2023) yang menunjukkan bahwa komposisi bahan penyusun memiliki hubungan dengan karakteristik mekanik paving block berbahan limbah plastik. Penelitian Abdel-Jaber et al. (2023) juga menunjukkan bahwa karakteristik material ringan seperti EPS perlu dipertimbangkan bersama komposisi campuran karena berkaitan dengan perubahan densitas dan kuat tekan.

Pada proses pembuatan, perbedaan ukuran, bentuk, dan massa jenis bahan dapat memengaruhi homogenitas campuran. Plastik multilayer digunakan dalam bentuk cacahan kasar, styrofoam dalam bentuk potongan ringan, sedangkan cangkang telur berbentuk serbuk. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pencampuran secara merata menjadi bagian penting untuk memperoleh distribusi material yang lebih seragam.

Pemadatan manual dilakukan untuk membantu pembentukan campuran yang kompak dan mengurangi rongga yang dapat terbentuk selama pencetakan. Selanjutnya, proses perawatan melalui penyiraman air bertujuan mempertahankan kelembapan untuk mendukung hidrasi semen. Kedua tahapan tersebut berperan dalam pembentukan struktur material berbasis semen, meskipun besarnya kontribusi masing-masing proses belum dievaluasi secara terpisah.

Nilai kuat tekan sebesar 7,51 MPa merupakan hasil dari formulasi dan prosedur produksi yang diterapkan. Hasil ini menunjukkan pentingnya memperhatikan interaksi karakteristik bahan dan proses pembuatan dalam pengembangan paving block berbahan limbah.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan data empiris awal mengenai penggunaan kombinasi plastik multilayer, styrofoam, dan serbuk cangkang telur dalam satu formulasi paving block berbasis semen. Temuan tersebut melengkapi literatur mengenai pemanfaatan limbah plastik, styrofoam, dan serbuk cangkang telur sebagai bahan alternatif konstruksi, sekaligus menjadi dasar bagi pengembangan formulasi dengan karakteristik mekanik yang lebih sesuai terhadap persyaratan teknis.

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan tujuh paving block berbasis semen dengan kombinasi limbah plastik multilayer, styrofoam, dan serbuk cangkang telur melalui pencampuran serta pemadatan manual. Pengujian terhadap satu spesimen setelah perawatan selama 14 hari menunjukkan kuat tekan sebesar 7,51 MPa pada beban maksimum 278,0 kN, dengan ketebalan 57 mm. Nilai tersebut berada 0,99 MPa di bawah persyaratan kuat tekan minimum individual mutu D sebesar 8,5 MPa berdasarkan SNI 03-0691-1996, sehingga spesimen yang diuji belum memenuhi batas kekuatan tersebut. Hasil ini memberikan informasi empiris awal mengenai karakteristik mekanik formulasi yang digunakan, tetapi belum dapat menjadi dasar penetapan kelayakan produk secara menyeluruh. Pengembangan selanjutnya perlu mengevaluasi variasi proporsi plastik, styrofoam, dan serbuk cangkang telur, pengendalian tekanan pemadatan, serta perawatan hingga 28 hari dengan kelompok kontrol dan pengulangan pengujian. Pengujian penyerapan air, ketahanan aus, densitas, dan mikrostruktur juga diperlukan untuk menentukan formulasi yang memenuhi persyaratan teknis paving block.

KONFLIK KEPENTINGAN

[Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.]

PERNYATAAN PENGGUNAAN AI

[Penulis tidak menggunakan teknologi AI dalam penyusunan naskah ini.]

KONTRIBUSI PENULIS

[Penulis 1: konsep, draft artikel & analisis; Penulis 2,3 & 4: perancangan & pengujian, Penulis 5,6 & 7: penyusunan laporan kegiatan]

SUMBER PENDANAAN

[Penelitian ini dibiayai mandiri oleh penulis.]

UCAPAN TERIMA KASIH

[Penulis berterima kasih kepada pengelola Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Palembang yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini sampai dengan selesai.]

DAFTAR PUSTAKA

Abdel-Jaber, M., Shatarat, N., & El-Nimri, R. (2023). Influence of using expanded polystyrene beads on the density and compressive strength of hardened concrete. *Civil Engineering and Architecture, 11*(6), 3599–3611. https://doi.org/10.13189/cea.2023.110627

Agrawal, R., Singh, S. K., Singh, S., Prajapat, D. K., Sudhanshu, S., Kumar, S., Đurin, B., Šrajbek, M., & Gilja, G. (2023). Utilization of plastic waste in road paver blocks as a construction material. *CivilEng, 4*(4), 1071–1082. https://doi.org/10.3390/civileng4040058

Agyeman, S., Obeng-Ahenkora, N. K., Assiamah, S., & Twumasi, G. (2019). Exploiting recycled plastic waste as an alternative binder for paving blocks production. *Case Studies in Construction Materials, 11*, Article e00246. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00246

Ardiatma, D., Ilyas, N. I., Halomoan, N., & Indriyani, Y. M. (2025). Pemanfaatan limbah plastik PS (polystyrene) jenis styrofoam menjadi paving block dengan campuran silica fume sebagai upaya reduksi sampah plastik. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan, 17*(1), 56–72. https://doi.org/10.20885/jstl.vol17.iss1.art5

Badan Standardisasi Nasional. (1996). *SNI 03-0691-1996: Bata beton (paving block).* https://pesta.bsn.go.id/produk/detail/999-sni03-0691-1996

Chong, B. W., Gujar, P., Shi, X., & Suraneni, P. (2024). Assessment of waste eggshell powder as a limestone alternative in Portland cement. *Materials and Structures, 57*, Article 219. https://doi.org/10.1617/s11527-024-02478-9

Salahaldeen, A. S., & Al-Hadithi, A. I. (2022). The effect of adding expanded polystyrene beads (EPS) on the hardened properties of concrete. *Engineering, Technology & Applied Science Research, 12*(6), 9692–9696. https://doi.org/10.48084/etasr.5278

Saleem, F., Saleem, M., Khalil, U., & Maqsood, M. (2025). Plastic waste: Environmental impact, innovative solutions, and pathways to sustainable management. *Journal of Life and Social Sciences, 4*(1). https://doi.org/10.64013/bbasrjlifess.v2025i1.36

Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional. (2024). *Pengelolaan sampah*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/timbulan

Solikin, M., Widiyanto, R., Asroni, A., Setiawan, B., & Asnan, M. N. (2019). High content styrofoam as partial substitution for fine aggregate in SCC lightweight concrete brick. *AIP Conference Proceedings, 2114*(1), Article 030022. https://doi.org/10.1063/1.5112426

Sriani, T., Mahardika, M., Aldhama, S. A., Wulandari, C. P., & Prihandana, G. S. (2024). Upcycling of expanded polystyrene waste-impregnated PVP using wet-phase inversion for effective microalgae harvesting. *Polymers, 16*(19), Article 2703. https://doi.org/10.3390/polym16192703

Tassa, R., Nursyamsi, N., & Tarigan, J. (2025). Utilization of metal-layered plastic packaging waste and eggshell powder as partial substitution materials in paving blocks. *Eduvest: Journal of Universal Studies, 5*(11), 3387–3405. https://doi.org/10.59188/eduvest.v5i11.51884

Uvarajan, T., Gani, P., Chuan, N. C., & Zulkernain, N. H. (2021). Reusing plastic waste in the production of bricks and paving blocks: A review. *European Journal of Environmental and Civil Engineering, 26*(14), 6941–6974. https://doi.org/10.1080/19648189.2021.1967201