

Pemanfaatan Limbah Plastik Low-Density Polyethylene (LDPE) sebagai Bahan Tambah Beton: Analisis Kuat Tekan, Daya Serap Air, dan Harga Pokok Produksi

Crisna Ardi Wibowo*, Desi Erlita, Toni Isbandi

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri dan Energi, Institut Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 26 Januari 2026
Revisi Akhir: 07 Juni 2026
Diterbitkan Online: 13 Oktober 2026

KATA KUNCI

Beton
Daya Serap Air
Harga Pokok Produksi
Kuat Tekan
LDPE
Limbah Plastik
Teknik Industri

KORESPONDENSI (*)

E-mail: crisna.ardi@student.ity.ac.id

A B S T R A K

Peningkatan volume limbah plastik jenis *Low-Density Polyethylene* (LDPE) yang sulit terurai menjadi tantangan serius dalam pengelolaan lingkungan industri. Penelitian ini bertujuan untuk (1) menganalisis pengaruh penambahan limbah plastik LDPE hasil pirolisis terhadap kuat tekan dan daya serap air beton, (2) menentukan komposisi campuran optimal dari perspektif kualitas teknis, serta (3) menghitung Harga Pokok Produksi (HPP) beton modifikasi sebagai dasar evaluasi kelayakan ekonomi produk. Pendekatan yang digunakan adalah eksperimen kuantitatif di laboratorium dengan mengacu pada standar mutu beton SNI K-300. Plastik LDPE yang berasal dari sampah kantong kresek diolah melalui proses pirolisis pada suhu 350°C selama dua jam hingga menghasilkan residu padat, kemudian dihancurkan menjadi serbuk berukuran *mesh* 20. Variasi campuran yang diuji adalah 5%, 10%, dan 15% LDPE terhadap berat total campuran. Benda uji silinder (150 mm × 300 mm) dirawat selama 28 hari, lalu diuji kuat tekan (SNI 1974:2011) dan daya serap air (SNI 1971:2011). Perhitungan HPP menggunakan pendekatan *full costing*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi 5% LDPE menghasilkan kinerja paling optimal: kuat tekan 15,84 MPa, daya serap air 1,46%, dan HPP sebesar Rp3.334 per unit silinder. Penambahan LDPE hingga 15% menyebabkan penurunan kuat tekan hingga 7,25 MPa akibat gangguan pada proses hidrasi semen. Daya serap air terendah dicapai pada komposisi 10% sebesar 1,41%. Beton dengan campuran 5% LDPE terklasifikasi dalam mutu rendah (K175–K250) yang sesuai untuk konstruksi tanpa tulangan. Temuan ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan produk baru dalam industri konstruksi berbasis prinsip ekonomi sirkular, dengan memanfaatkan limbah yang sebelumnya tidak bernilai menjadi material bangunan bernilai tambah.

PENDAHULUAN

Permasalahan limbah plastik merupakan isu lingkungan yang kian mendesak di tingkat global maupun nasional. Indonesia tercatat sebagai salah satu negara dengan tingkat produksi sampah plastik yang sangat tinggi. Berdasarkan laporan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), setiap individu di Indonesia rata-rata menghasilkan 2,5 liter sampah per hari. Dengan jumlah penduduk mencapai 268 juta jiwa, total produksi sampah domestik diperkirakan melebihi 670 juta liter per hari. Dari jumlah tersebut, sekitar 5,4 juta ton merupakan sampah plastik per tahun, dan sekitar 14% di antaranya berasal dari jenis *Low-Density Polyethylene* (LDPE) [1].

LDPE merupakan jenis plastik dengan sifat fisik yang unggul — tahan korosi, fleksibel, ringan, dan memiliki ketahanan termal yang baik — namun justru sifat-sifat tersebut membuatnya sangat sulit terurai secara alami. LDPE banyak digunakan sebagai kantong belanja (*kresek*), pembungkus makanan, dan berbagai produk rumah tangga lainnya. Sulitnya degradasi LDPE mendorong kebutuhan akan inovasi pemanfaatan kembali limbah ini dalam rantai produksi yang lebih produktif.

Dalam perspektif Teknik Industri, pengelolaan limbah plastik merupakan persoalan yang menyentuh efisiensi sumber daya, desain produk baru, dan evaluasi biaya produksi. Pendekatan *reuse* dan *recycle* telah mendorong lahirnya inovasi pemanfaatan plastik daur ulang sebagai bahan tambah (*additive*) dalam campuran beton. Beton, sebagai material konstruksi paling banyak digunakan di Indonesia dalam pembangunan jalan, gedung, dan infrastruktur, memerlukan pengembangan teknologi yang berkelanjutan untuk menghasilkan produk berkualitas tinggi dengan dampak lingkungan yang minimal.

Penelitian ini berfokus pada pengembangan produk baru beton dengan penambahan limbah plastik LDPE yang diolah melalui proses pirolisis. Pirolisis dipilih karena mampu mengubah limbah plastik menjadi residu padat yang stabil secara fisik dan mudah dicampurkan ke dalam material komposit. Evaluasi dilakukan terhadap tiga aspek utama yang relevan dalam konteks Teknik Industri: kualitas teknis produk (kuat tekan dan daya serap air), efisiensi biaya (Harga Pokok Produksi/HPP), serta potensi dampak lingkungan. Dengan mengintegrasikan ketiga aspek tersebut, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan material bangunan berkelanjutan (*sustainable construction materials*) yang secara ekonomi kompetitif dan secara lingkungan bertanggung jawab.

TINJAUAN PUSTAKA

Sampah Plastik dan Pengelolaannya

Sampah plastik merupakan limbah yang sangat sulit terurai karena memiliki struktur polimer rantai panjang yang tidak mudah didegradasi secara alami. Plastik memiliki sifat mudah dibentuk saat terkena panas dan tekanan, namun justru sifat ini membuatnya tahan terhadap proses degradasi biologis. Sampah plastik dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis polimer, antara lain: PET (*Polyethylene Terephthalate*), HDPE (*High-Density Polyethylene*), PVC (*Polyvinyl Chloride*), LDPE (*Low-Density Polyethylene*), PP (*Polypropylene*), PS (*Polystyrene*), dan jenis lainnya. Pengelolaan sampah plastik dapat dilakukan melalui prinsip 3R: *Reduce* (pengurangan di sumber), *Reuse* (penggunaan kembali), dan *Recycle* (daur ulang menjadi produk baru bernilai) [2]. Penelitian ini mengadopsi pendekatan *recycle* melalui proses pirolisis untuk mengkonversi LDPE menjadi material fungsional dalam campuran beton.

Proses Pirolisis Plastik LDPE

Pirolisis adalah proses dekomposisi bahan organik melalui pemanasan tanpa atau dengan sedikit oksigen yang menghasilkan perubahan struktur kimia material [3]. Plastik LDPE yang dipanaskan pada suhu sekitar 350°C selama dua jam akan menghasilkan residu padat sisa pembakaran. Dalam penelitian ini, setiap 1 kg plastik LDPE mentah menghasilkan 878 gram residu padat pirolisis. Residu padat tersebut selanjutnya dihancurkan melalui proses penumbukan dan disaring menggunakan saringan berukuran *mesh* 20 untuk menghasilkan serbuk plastik yang homogen sebelum dicampurkan ke dalam adukan beton. [4]

Beton dan Standar Mutunya

Beton adalah material yang terdiri dari campuran semen Portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, yang dapat ditambahkan bahan lain untuk membentuk massa padat. Beton diklasifikasikan berdasarkan berat jenis menjadi: beton ringan (<1.900 kg/m³), beton normal (2.200–2.500 kg/m³), dan beton berat (>2.500 kg/m³) sesuai SNI 03-2847-2002. Kuat tekan beton bervariasi antara 10 MPa hingga 65 MPa (setara K-125 hingga K-800), bergantung pada mutu campuran. Mutu beton rendah berkisar pada kuat tekan 15 MPa hingga <20 MPa (K175–<K250) yang umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti trotoar, beton siklop, dan pasangan batu [5]

Faktor-faktor yang memengaruhi mutu beton meliputi: kualitas bahan penyusun, proporsi campuran (*mix design*), proses pencampuran, perawatan (*curing*), dan umur beton. Perawatan beton selama 28 hari merupakan standar yang umum digunakan karena kekuatan beton meningkat seiring berjalannya proses hidrasi semen.

Harga Pokok Produksi (HPP) dalam Teknik Industri

Dalam kajian Teknik Industri, Harga Pokok Produksi (HPP) merupakan total biaya yang dikeluarkan untuk mengubah bahan baku menjadi produk jadi, mencakup biaya bahan baku langsung, tenaga kerja langsung, dan biaya *overhead* pabrik [6]. Penentuan HPP secara akurat menjadi dasar pengambilan keputusan manajerial, termasuk penetapan harga jual, analisis titik impas (*break-even point*), dan evaluasi efisiensi produksi. Penelitian ini menggunakan pendekatan *full costing* dalam menghitung HPP, yakni memperhitungkan seluruh komponen biaya — baik yang bersifat variabel maupun tetap — untuk menghasilkan gambaran biaya produksi yang komprehensif [6]

Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu telah mengkaji pemanfaatan limbah plastik dalam campuran beton. [7] menemukan bahwa *paving block* dengan campuran LDPE dan pasir (100%:0%) menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 15,289 MPa, sedangkan kuat tekan terendah terdapat pada variasi campuran 80% LDPE : 20% pasir dengan nilai kuat tekan sebesar 7,735 MPa. Parameter lain menunjukkan daya serap *paving block* terbesar terdapat pada variasi campuran 50% LDPE : 50% pasir dengan nilai serapan air sebesar 0,353%, sedangkan nilai penyerapan terendah terdapat pada variasi campuran 100% LDPE : 0% pasir dengan nilai penyerapan sebesar 0,260% sehingga benda uji dinyatakan baik

METODOLOGI

Pendekatan dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental kuantitatif di laboratorium. Pengujian kuat tekan dan daya serap air dilaksanakan di PT. Bumi Panen Makmur, Klaten. Pembuatan benda uji dilakukan secara mandiri mengacu pada prosedur SNI 2493:2011 tentang tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di lapangan.

Bahan dan Komposisi Campuran

Bahan penyusun beton dalam penelitian ini meliputi: (1) Semen Portland Komposit Tipe I merek Tiga Roda (memenuhi SNI 15-7064-2004); (2) agregat halus berupa pasir sungai dari Sungai Gendol, Merapi, Sleman; (3) agregat kasar berupa batu pecah dari Manisrenggo, Klaten (gradasi sesuai SNI 03-2834-2002); (4) air bersih; dan (5) limbah plastik LDPE dari kantong kresek yang diolah melalui pirolisis pada suhu 350°C selama dua jam, menghasilkan residu padat, kemudian dihancurkan dan disaring berukuran *mesh* 20.

Tabel 1. Komposisi Campuran Beton Acuan SNI K-300

No	Bahan	Proporsi (%)	Berat (kg)
1	Agregat halus (pasir)	30%	3,0
2	Agregat kasar (batu pecah)	40%	4,3
3	Semen Portland Tipe I	20%	1,7
4	Air	10%	1,0 liter
Total		100%	10,0

Tiga variasi campuran limbah plastik LDPE dikembangkan dengan mensubstitusi sebagian semen, sebagaimana disajikan pada Tabel 2. Variasi campuran ini dirancang untuk mengkaji secara sistematis pengaruh kadar LDPE terhadap kinerja teknis dan ekonomi beton.

Tabel 2. Komposisi Beton Campuran Limbah Plastik LDPE

No	Bahan	Proporsi SNI (%)	5% LDPE (kg)	10% LDPE (kg)	15% LDPE (kg)
1	Agregat halus (pasir)	30%	3,000	3,000	3,000
2	Agregat kasar (batu pecah)	40%	4,300	4,300	4,300
3	Semen Portland Tipe I	20%	1,615	1,530	1,445
4	Air	10%	1,0 liter	1,0 liter	1,0 liter
5	Limbah plastik LDPE	—	0,085 (5%)	0,170 (10%)	0,255 (15%)

Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Pencampuran bahan dilakukan menggunakan mesin *mixer* dengan tahapan: (1) penimbangan semua bahan secara presisi menggunakan timbangan digital 1 gram; (2) pencampuran bahan kering (semen, agregat halus, agregat kasar, serbuk LDPE) selama 1,5 menit hingga homogen; dan (3) penambahan air dilanjutkan pengadukan selama 1,5 menit. Adukan dituangkan ke dalam cetakan silinder berdiameter 150 mm × tinggi 300 mm, dipadatkan untuk menghilangkan rongga udara, lalu permukaannya diratakan. Setelah mengeras selama 24 jam, benda uji dilepas dari cetakan dan dirawat (*curing*) dengan metode pembasahan berkala selama 28 hari. Setiap variasi dibuat dalam dua sampel ulangan untuk menjamin validitas data.

Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan terhadap tiga parameter: (1) Uji Kuat Tekan menggunakan mesin uji kompresi sesuai SNI 1974:2011, dilaksanakan pada umur beton 28 hari, dengan hasil dinyatakan dalam MPa menggunakan rumus: $f_c = P/A$, di mana f_c adalah kuat tekan (MPa), P adalah beban maksimum (kN), dan A adalah luas penampang benda uji (mm^2); (2) Uji Daya Serap Air dilaksanakan dengan merendam benda uji selama 7 hari sesuai standar ASTM C-150, dan dihitung dengan rumus: $P_a = ((B_b - B_a)/B_a) \times 100\%$, di mana P_a adalah persentase penyerapan air, B_a adalah berat awal (kg), dan B_b adalah berat setelah perendaman (kg); serta (3) Perhitungan HPP menggunakan pendekatan *full costing* yang mencakup biaya bahan baku, biaya gas LPG untuk pirolisis, dan komponen biaya produksi lainnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Daya Serap Air

Pengujian daya serap air dilakukan pada seluruh variasi campuran setelah perendaman selama 7 hari. Hasil selengkapnya disajikan pada Tabel 3. Nilai daya serap air yang lebih rendah mengindikasikan porositas beton yang lebih kecil dan ketahanan yang lebih baik terhadap penetrasi air.

Tabel 3. Hasil Uji Daya Serap Air Beton Campuran LDPE

No	Kadar Plastik	Berat Awal (kg)	Berat Setelah Rendam (kg)	Daya Serap Air (%)	Ket.
1	SNI (0%)	11,805	11,945	1,18	Acuan
2	5%	11,930	12,105	1,46	
	5%	11,635	11,865	1,97	Terendah
3	10%	11,690	11,870	1,53	
	10%	11,625	11,790	1,41	
4	15%	11,470	11,645	1,52	
	15%	11,550	11,745	1,68	

Berdasarkan data pada Tabel 3, nilai daya serap air seluruh variasi campuran berada di bawah 5%, yang sesuai dengan ambang batas kualitas beton yang baik menurut SNI 1969 dan SNI 1970. Daya serap air terendah dicapai oleh variasi 10% LDPE sebesar 1,41%, lebih rendah daripada beton acuan SNI (1,18%) hanya pada sampel pertama SNI. Hal ini mengindikasikan bahwa partikel serbuk plastik berukuran halus (*mesh* 20) mampu mengisi pori-pori mikro dalam matriks beton sehingga mengurangi tingkat porositas secara efektif.

Namun demikian, pada variasi 15% LDPE, nilai daya serap air pada salah satu sampel meningkat menjadi 1,68%. Peningkatan ini disebabkan oleh kandungan LDPE yang berlebihan yang menciptakan rongga baru dalam pasta semen akibat ikatan antarmuka antara partikel plastik hidrofobik dengan pasta semen yang tidak sempurna. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian [7] yang menunjukkan bahwa penambahan plastik yang berlebih justru meningkatkan daya serap air.

Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 28 hari sesuai SNI 1974:2011. Hasil lengkap pengujian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Campuran LDPE

No	Komposisi	Dia. (cm)	Tinggi (cm)	Luas Bidang Tekan (mm^2)	Beban (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Mutu Beton
1	SNI (0%)	15,0	30,0	17.671	325	18,39	K-300
2	5% LDPE	15,1	30,1	17.907	225	12,56	K-175
	5% LDPE	15,0	30,2	17.671	280	15,84	K-225
3	10% LDPE	15,0	30,1	17.671	210	11,88	K-175
	10% LDPE	15,2	30,0	18.145	260	14,32	K-175

4	15% LDPE	15,2	30,3	18.145	280	15,43	K-175
	15% LDPE	15,1	30,0	17.907	130	7,25	< K-125

Data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton campuran LDPE berkisar antara 7,25 MPa hingga 15,84 MPa, lebih rendah dibandingkan beton acuan SNI K-300 (18,39 MPa). Nilai kuat tekan tertinggi pada variasi campuran LDPE diperoleh pada komposisi 5% dengan hasil 15,84 MPa. Penurunan kuat tekan seiring dengan meningkatnya kadar LDPE disebabkan oleh sifat hidrofobik plastik yang menghambat proses hidrasi semen dan melemahkan ikatan antar partikel agregat dalam matriks beton.

Berdasarkan klasifikasi mutu beton menurut SNI 03-2847-2002, beton campuran 5% LDPE dengan kuat tekan terbaik 15,84 MPa termasuk dalam kategori mutu rendah (K175–K250). Kategori ini sesuai untuk penggunaan pada struktur beton tanpa tulangan, seperti trotoar pejalan kaki, beton siklop, pasangan batu kosong yang diisi adukan, dan pasangan batu. Dengan demikian, meskipun belum memenuhi standar K-300 untuk konstruksi struktural bertulang, beton modifikasi LDPE ini memiliki ruang aplikasi yang cukup luas dalam infrastruktur non-struktural.

Pada variasi 15% LDPE, nilai kuat tekan salah satu sampel turun secara signifikan menjadi 7,25 MPa — di bawah ambang batas mutu terendah yang dapat dipertimbangkan untuk aplikasi konstruksi. Penurunan ekstrem ini mengindikasikan bahwa kadar LDPE sebesar 15% telah melampaui batas toleransi sistem campuran beton sehingga ikatan struktural matriks beton mengalami kerusakan yang signifikan.

Analisis Perbandingan Kuat Tekan dan Daya Serap Air

Untuk memudahkan pengambilan keputusan dalam penentuan komposisi optimal, Tabel 5 menyajikan rekapitulasi perbandingan antara kuat tekan terbaik dan daya serap air terbaik pada masing-masing variasi.

Tabel 5. Rekapitulasi Kinerja Beton per Variasi Campuran LDPE

Variasi	Kuat Tekan Terbaik (MPa)	Daya Serap Air Terbaik (%)	Mutu Beton	Keterangan
SNI (0%)	18,39	1,18	K-300	Referensi
5% LDPE	15,84	1,46	K-175 – K-250	Optimal overall
10% LDPE	14,32	1,41	K-175	Daya serap terendah
15% LDPE	15,43*	1,52	K-175	Tidak konsisten*

*) Variasi 15% menunjukkan hasil yang tidak konsisten antara dua sampel (15,43 MPa dan 7,25 MPa), mengindikasikan ketidakhomogenan distribusi LDPE dalam matriks beton.

Dari analisis perbandingan pada Tabel 5, variasi 5% LDPE terbukti menghasilkan keseimbangan optimal antara kuat tekan dan daya serap air. Meskipun variasi 10% menghasilkan daya serap air yang sedikit lebih rendah (1,41%), kuat tekannya (14,32 MPa) lebih rendah dibandingkan variasi 5%. Dalam konteks Teknik Industri, pengambilan keputusan terbaik mempertimbangkan trade-off antara parameter teknis dan biaya produksi, yang dianalisis lebih lanjut melalui perhitungan HPP.

Perhitungan Harga Pokok Produksi (HPP)

Perhitungan HPP dilakukan untuk variasi terbaik, yaitu komposisi 5% LDPE, menggunakan pendekatan *full costing* yang mencakup seluruh komponen biaya produksi per satu sampel beton silinder. Biaya gas LPG dihitung sebagai biaya variabel tambahan untuk proses pirolisis plastik. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan HPP Beton Campuran 5% LDPE (per Unit Silinder)

No	Komponen Biaya	Volume	Satuan	Biaya (Rp)
1	Semen Portland Tipe I	1,615	kg	1.938

2	Agregat halus (pasir sungai)	3,000	kg	428
3	Agregat kasar (batu pecah/split)	4,300	kg	502
4	Limbah plastik LDPE (residu pirolisis)	85	gram	170
5	Gas LPG (pirolisis plastik)	0,1936	kg	296
Total HPP per Unit Silinder				3.334

HPP beton campuran LDPE 5% sebesar Rp3.334 per unit silinder menunjukkan efisiensi biaya yang menarik sebagai alternatif material. Komponen biaya terbesar adalah semen (Rp1.938 atau 58,1% dari total HPP), diikuti agregat kasar (Rp502, 15,1%), agregat halus (Rp428, 12,8%), gas LPG pirolisis (Rp296, 8,9%), dan plastik LDPE (Rp170, 5,1%). Menarik dicatat bahwa biaya plastik LDPE yang sangat rendah — bahkan hampir bernilai nol karena bersumber dari limbah — menjadi salah satu keunggulan kompetitif material ini. Pengurangan sebesar 5% kadar semen (dari 1,700 kg menjadi 1,615 kg) menghasilkan penghematan bahan baku semen yang apabila diproduksi dalam skala industri akan memberikan pengurangan biaya yang signifikan.

Dari perspektif Teknik Industri, pemanfaatan limbah LDPE dalam beton membuka peluang bisnis dalam kerangka ekonomi sirkular: limbah yang sebelumnya memerlukan biaya pengelolaan tersendiri kini dikonversi menjadi bahan baku produksi berbiaya rendah. Jika diproduksi dalam skala 15 m³ per hari, inovasi ini mampu memanfaatkan sekitar 1% dari total sampah plastik Kota Klaten, sekaligus mengurangi biaya pembuangan limbah dan jejak karbon industri konstruksi.

Analisis Pengaruh terhadap Lingkungan dan Konsep Ekonomi Sirkular

Penelitian ini mendukung konsep ekonomi sirkular (*circular economy*) dalam industri konstruksi melalui tiga mekanisme utama: (1) pemanfaatan limbah LDPE sebagai bahan baku produksi mengurangi volume sampah plastik yang berakhir di tempat pembuangan akhir; (2) substitusi sebagian semen dengan LDPE berpotensi menurunkan emisi karbon dari proses produksi semen; dan (3) proses pirolisis mengkonversi plastik menjadi material fungsional yang memiliki nilai tambah dalam rantai produksi material konstruksi.

Seluruh variasi campuran LDPE menghasilkan daya serap air di bawah 5%, menunjukkan bahwa penambahan plastik tidak mengorbankan ketahanan beton terhadap kelembaban. Beton campuran LDPE 5% dengan kuat tekan 15,84 MPa dan daya serap 1,46% dapat direkomendasikan untuk aplikasi non-struktural seperti produksi *paving block*, trotoar pejalan kaki, lantai gudang, dan elemen bangunan bertingkat rendah — segmen pasar yang memiliki permintaan tinggi dalam pembangunan infrastruktur perkotaan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penambahan limbah plastik LDPE dalam campuran beton berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan dan daya serap air. Semakin tinggi kadar LDPE, semakin rendah kuat tekan beton akibat gangguan proses hidrasi semen. Kuat tekan terbaik diperoleh pada variasi 5% LDPE sebesar 15,84 MPa, yang terklasifikasikan dalam mutu beton rendah (K175–K250), sesuai untuk struktur beton tanpa tulangan.

Daya serap air terendah dicapai pada variasi 10% LDPE sebesar 1,41%, namun variasi ini menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah (14,32 MPa) dibandingkan variasi 5%. Seluruh variasi campuran menghasilkan daya serap air di bawah 5%, memenuhi kriteria kualitas beton yang baik.

HPP beton campuran LDPE 5% sebesar Rp3.334 per unit silinder menunjukkan efisiensi biaya yang kompetitif. Komponen semen menyumbang 58,1% dari total HPP, sehingga substitusi sebagian semen dengan LDPE memberikan potensi penghematan biaya bahan baku yang signifikan pada skala produksi industri.

Secara keseluruhan, komposisi 5% LDPE merupakan pilihan optimal yang menyeimbangkan aspek kualitas teknis, efisiensi biaya, dan dampak lingkungan. Penelitian ini membuktikan bahwa limbah plastik LDPE dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah beton dalam kerangka pengembangan produk baru yang mendukung prinsip ekonomi sirkular dan konstruksi berkelanjutan.

Saran

Berdasarkan temuan penelitian ini, beberapa rekomendasi diajukan untuk pengembangan lebih lanjut: (1) melaksanakan pengujian ketahanan jangka panjang beton campuran LDPE terhadap kondisi lingkungan ekstrem; (2) mengkaji penerapan pada skala struktural dan produksi nyata seperti *paving block* dan elemen bangunan; (3) mengeksplorasi kombinasi LDPE dengan bahan tambah lain seperti *fly ash*, *silica fume*, atau *slag* untuk meningkatkan kuat tekan; (4) mengoptimalkan ukuran partikel dan perlakuan permukaan LDPE sebelum pencampuran untuk memperbaiki ikatan antarmuka plastik-semen; serta (5) melakukan analisis daur hidup (*Life Cycle Assessment/LCA*) secara menyeluruh untuk mengkuantifikasi manfaat lingkungan secara komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Wahyudi, E., Zultiniar, & E., “Pengolahan Sampah Plastik Polipropilena (PP) Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Metode Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis Sintetis,” *J. Rekayasa Kim. dan Lingkung.*, vol. 11, no. 1, pp. 17–23, 2018.
- [2] K. P. Lingkungan, “Pengelolaan Sampah 3R (Reduce, Reuse, Recycle) Pada Pembelajaran Ips Untuk Menumbuhkan Karakter Peduli Lingkungan 39-51,” vol. 3, pp. 39–51, 2018.
- [3] K. Ridhuan and J. Suranto, “Perbandingan Pembakaran Pirolisis Dan Karbonisasi Pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori,” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 50–56, 2017, doi: 10.24127/trb.v5i1.119.
- [4] M. S. Cahyono, M. R. P. Liestiono, and C. Widodo, “Proses Pirolisis Sampah Plastik dalam Rotary Drum Reactor dengan Variasi Laju Kenaikan Suhu,” *Pros. Semin. Nas. Teknoka*, vol. 3, no. 2502, p. 63, 2019, doi: 10.22236/teknoka.v3i0.2917.
- [5] P. Mahendra and Y. Risdianto, “Pemanfaatan Limbah Karbit Sebagai Material Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Normal,” *Pemanfaat. Limbah Karbit Sebagai Mater. Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan*, vol. 2 No. 2, pp. 1–7, 2019.
- [6] S. E. Safitry and N. S. Muntiah, “Perhitungan Harga Pokok Produksi Dengan Metode Full Costing Dan Activity Based Costing Pada Umkm Wisna Frozen Food Ponorogo,” *ISOQUANT J. Ekon. Manaj. dan Akunt.*, vol. 6, no. 2, pp. 1–23, 2022.
- [7] M. R. A. Brizi, A. Rakhmawati, and Y. Arnandha, “Pemanfaatan Limbah Plastik Ldpe Sebagai Bahan Campuran Pembuatan Bata Beton (Paving Block),” *J. Rekayasa Infrastruktur Sipil*, vol. 1, no. 2, pp. 2–7, 2021, doi: 10.31002/v1i2.3521.