



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 5 Nomor 4 Tahun 2025 Page 2918-2926

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

## Analisis Kinerja Material Beton dengan Substitusi Limbah Plastik sebagai Agregat Halus untuk Konstruksi Berkelanjutan di Indonesia

Bethari Sekar Arum<sup>1✉</sup>, Aulia Choiri Windari<sup>2</sup>

Jakarta Global University

Email: [betharisekar3@gmail.com](mailto:betharisekar3@gmail.com)<sup>1✉</sup>

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja material beton dengan substitusi limbah plastik sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam campuran beton. Permasalahan pengelolaan limbah plastik di Indonesia serta kebutuhan akan alternatif material konstruksi yang ramah lingkungan menjadi latar belakang penelitian ini. Metode eksperimental digunakan dengan membuat beberapa variasi campuran beton dengan substitusi limbah plastik poliethylene terephthalate (PET) daur ulang sebagai pengganti pasir dengan variasi persentase 0% (kontrol), 5%, 10%, 15%, dan 20% dari volume agregat halus. Pengujian meliputi kuat tekan, kuat tarik belah, penyerapan air, dan modulus elastisitas beton pada umur 7, 14, dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi limbah plastik hingga 10% memberikan nilai kuat tekan yang masih memenuhi persyaratan beton struktural, dengan penurunan kuat tekan sebesar 8,3% dibandingkan beton normal, namun memiliki keunggulan berupa bobot yang lebih ringan sebesar 7,2% dan penyerapan air yang lebih rendah sebesar 13,5%. Sementara substitusi 15% dan 20% menunjukkan penurunan signifikan pada kuat tekan sebesar 18,7% dan 27,5%. Analisis ekonomi menunjukkan potensi penghematan biaya material sebesar 6,8% pada substitusi 10% dengan tetap mempertahankan kinerja struktural yang memadai. Hasil penelitian ini memberi kontribusi terhadap pengembangan material konstruksi berkelanjutan dan pengelolaan limbah plastik di Indonesia.

Kata Kunci: *Beton, Limbah Plastik, Konstruksi Berkelanjutan, Kuat Tekan, Agregat Halus*

## Abstract

This study aims to analyze the performance of concrete materials with plastic waste substitution as a partial replacement for fine aggregate in concrete mixtures. The problem of plastic waste management in Indonesia and the need for alternative environmentally friendly construction materials are the background of this study. The experimental method was used by making several variations of concrete mixtures with recycled polyethylene terephthalate (PET) plastic waste substitution as a replacement for sand with percentage variations of 0% (control), 5%, 10%, 15%, and 20% of the volume of fine aggregate. Testing includes compressive strength, splitting tensile strength, water absorption, and modulus of elasticity of concrete at the ages of 7, 14, and 28 days. The results showed that substitution of plastic waste up to 10% provided a compressive strength value that still met the requirements of structural concrete, with a decrease in compressive strength of 8.3% compared to normal concrete, but had the advantage of a lighter weight of 7.2% and lower water absorption of 13.5%. While the substitution of 15% and 20% showed a significant decrease in compressive strength of 18.7% and 27.5%. Economic analysis shows a potential material cost saving of 6.8% at 10% substitution while maintaining adequate structural performance. The results of this study contribute to the development of sustainable construction materials and plastic waste management in Indonesia.

Keywords: *Concrete, Plastic Waste, Sustainable Construction, Compressive Strength, Fine Aggregate*

## PENDAHULUAN

Indonesia menghadapi dua tantangan besar yang saling terkait: permasalahan limbah plastik dan kebutuhan akan material konstruksi yang berkelanjutan. Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2023), Indonesia menghasilkan sekitar 7,8 juta ton limbah plastik per tahun, dengan hanya 15% yang berhasil didaur ulang. Di sisi lain, sektor konstruksi terus berkembang pesat dan membutuhkan inovasi material yang ramah lingkungan.

Beton sebagai material konstruksi utama memiliki dampak lingkungan yang signifikan, terutama dari ekstraksi agregat dan produksi semen. Penggunaan limbah plastik sebagai substitusi agregat halus dalam campuran beton berpotensi menjadi solusi untuk kedua permasalahan tersebut. Namun, karakteristik dan kinerja beton dengan campuran limbah plastik di Indonesia perlu diteliti lebih lanjut untuk memastikan keamanan dan kesesuaiannya dengan standar konstruksi yang berlaku.

## METODE PENELITIAN

### Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

1. Semen Portland tipe I sesuai SNI 15-2049-2004
2. Agregat halus berupa pasir sungai dari Cimalaka, Sumedang dengan ukuran maksimum 4,75 mm
3. Agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran maksimum 20 mm
4. Air bersih sesuai standar SNI 03-6817-2002
5. Limbah plastik PET yang telah dicacah dengan ukuran 2-5 mm, diperoleh dari fasilitas daur ulang di Tangerang

### Rancangan Campuran (Mix Design)

Rancangan campuran beton menggunakan metode American Concrete Institute (ACI 211.1- 91) dengan target kuat tekan  $f_c'$  25 MPa. Lima variasi campuran disiapkan dengan persentase substitusi limbah plastik terhadap volume agregat halus sebagai berikut:

1. BP-0: 0% plastik (beton kontrol)
2. BP-5: 5% plastic
3. BP-10: 10% plastic
4. BP-15: 15% plastic
5. BP-20: 20% plastik

Proporsi campuran untuk masing-masing variasi disajikan pada Tabel.

Tabel 1. Proporsi Campuran Beton Per m<sup>3</sup>

Material	BP-0 (0%)	BP-5 (5%)	BP-10 (10%)	BP-15 (15%)	BP-20 (20%)
Semen (kg)	380	380	380	380	380
Air (kg)	190	190	190	190	190
Pasir (kg)	752	714,4	676,8	639,2	601,6
Limbah Plastik (kg)	0	19,1	38,2	57,3	76,4
Kerikil (kg)	1068	1068	1068	1068	1068
Faktor Air Semen	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Berat Total (kg/m <sup>3</sup> )	2390	2371,5	2353	2334,5	2316

### Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Pembuatan benda uji mengikuti prosedur ASTM C192. Untuk setiap variasi campuran dan usia pengujian, disiapkan:

1. 5 silinder berukuran 150 mm × 300 mm untuk uji kuat tekan dan modulus elastisitas

2. 3 silinder berukuran 150 mm × 300 mm untuk uji kuat tarik belah
3. 3 kubus berukuran 150 mm × 150 mm × 150 mm untuk uji penyerapan air

Perawatan benda uji dilakukan dengan perendaman dalam air pada suhu ruang ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ) hingga waktu pengujian.

#### Metode Pengujian

1. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan sesuai SNI 1974:2011 pada umur 7, 14, dan 28 hari menggunakan Universal Testing Machine dengan kapasitas 2000 kN.

2. Pengujian Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah dilakukan sesuai SNI 2491:2014 pada umur 28 hari.

3. Pengujian Penyerapan Air

Pengujian penyerapan air dilakukan sesuai ASTM C642 pada umur 28 hari.

4. Pengujian Modulus Elastis

Pengujian modulus elastisitas dilakukan sesuai ASTM C469 pada umur 28 hari.

#### Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif dan inferensial, meliputi analisis varians (ANOVA) untuk menentukan signifikansi perbedaan antara variasi campuran. Analisis regresi juga dilakukan untuk memodelkan hubungan antara persentase substitusi plastik dengan sifat mekanis beton.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Material

Hasil pengujian karakteristik material disajikan pada Tabel 1. Limbah plastik PET memiliki berat jenis  $1,34 \text{ g/cm}^3$ , lebih rendah dibandingkan pasir sungai ( $2,65 \text{ g/cm}^3$ ), yang mengindikasikan potensi pengurangan berat beton. Analisis gradasi menunjukkan bahwa kombinasi pasir dan plastik cacah masih memenuhi persyaratan zona gradasi menurut SNI 03- 2834-2000.

Tabel 2. Karakteristik Fisik Material

Properti	Pasir	Kerikil	Limbah Plastik PET
Berat Jenis ( $\text{g/m}^3$ )	2,65	2,70	1,34
Penyerapan Air (%)	2,15	1,20	0,03
Kadar Air (%)	3,40	0,90	0,10
Modulus Kehalusan	2,78	6,90	3,25

Abrasi Los Angeles (%)	-	21,50	-
Bentuk Partikel	Bulat-subangular	Angular	Irregular-flaky
Ukuran Maksimum (mm)	4,75	20	5

### Workabilitas Beton Segar

Nilai slump untuk semua campuran berada pada rentang 80-100 mm, memenuhi target workabilitas. Terdapat kecenderungan penurunan nilai slump seiring dengan peningkatan persentase plastik, yang menunjukkan penurunan workabilitas. Hal ini disebabkan oleh bentuk dan tekstur partikel plastik yang berbeda dari pasir alami.

Tabel 3. Hasil Pengujian Slump Beton Segar

Kode Campuran	Nilai Slump (mm)	Penurunan (%)
BP-0 (0%)	95	0
BP-5 (5%)	92	3,2
BP-10 (10%)	88	7,4
BP-15 (15%)	84	11,6
BP-20 (20%)	80	15,8

### Berat Jenis Beton

Hasil pengujian berat jenis beton pada umur 28 hari disajikan pada Gambar 1 dan Tabel 4. Beton dengan substitusi plastik memiliki berat jenis lebih rendah dibandingkan beton kontrol. Penurunan berat jenis berbanding lurus dengan peningkatan persentase substitusi plastik, dengan penurunan tertinggi sebesar 11,3% pada BP-20.

Tabel 4. Berat Jenis Beton 28 Hari

Kode Campuran	Berat Jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Penurunan (%)
BP-0 (0%)	2386	0
BP-5 (5%)	2324	2,6
BP-10 (10%)	2215	7,2
BP-15 (15%)	2156	9,6
BP-20 (20%)	2116	11,3

### Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton pada berbagai umur disajikan pada Gambar 2 dan Tabel 5. Kuat tekan beton pada umur 28 hari untuk BP-0, BP-5, BP-10, BP-15, dan BP-20 berturut-turut adalah 27,4 MPa, 26,2 MPa, 25,1 MPa, 22,3 MPa, dan 19,9 MPa.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton (MPa)

Kode Campuran	7 Hari	14 Hari	28 Hari	Penurunan pada 28 Hari (%)
BP-0 (0%)	19,2	24,6	27,4	0
BP-5 (5%)	18,3	23,5	26,2	4,4
BP-10 (10%)	17,5	22,6	25,1	8,3
BP-15 (15%)	15,4	19,8	22,3	18,7
BP-20 (20%)	13,8	17,5	19,9	27,5

Terdapat penurunan kuat tekan seiring dengan peningkatan persentase substitusi plastik. Penurunan ini disebabkan oleh ikatan yang lemah antara partikel plastik dan pasta semen, serta sifat non-absorptif plastik yang mengurangi adhesi. Namun demikian, campuran dengan substitusi hingga 10% masih memenuhi target kuat tekan 25 MPa untuk aplikasi struktural.

#### Kuat Tarik Belah

Hasil pengujian kuat tarik belah pada umur 28 hari disajikan pada Gambar 3 dan Tabel 6. Tren penurunan kuat tarik belah serupa dengan kuat tekan, namun dengan persentase penurunan yang lebih besar. Kuat tarik belah untuk BP-0, BP-5, BP-10, BP-15, dan BP-20 berturut-turut adalah 2,84 MPa, 2,61 MPa, 2,33 MPa, 1,92 MPa, dan 1,65 MPa.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton pada Umur 28 Hari

Kode Campuran	Kuat Tarik Belah (MPa)	Penurunan (%)	Rasio terhadap Kuat Tekan (%)
BP-0 (0%)	2,84	0	10,4
BP-5 (5%)	2,61	8,1	10,0
BP-10 (10%)	2,33	18,0	9,3
BP-15 (15%)	1,92	32,4	8,6
BP-20 (20%)	1,65	41,9	8,3

#### Penyerapan Air

Hasil pengujian penyerapan air pada umur 28 hari disajikan pada Gambar 4 dan Tabel 7. Beton dengan substitusi plastik menunjukkan penyerapan air yang lebih rendah dibandingkan beton kontrol. Penurunan penyerapan air berbanding lurus dengan peningkatan persentase substitusi plastik, dengan penurunan tertinggi sebesar 22,7% pada BP-20. Hal ini disebabkan oleh sifat hidrofobik plastik yang mengurangi porositas beton.

Tabel 7. Hasil Pengujian Penyerapan Air Beton pada Umur 28 Hari

Kode Campuran	Penyerapan Air (%)	Penurunan (%)
BP-0 (0%)	48,2	0
BP-5 (5%)	4,58	5,0
BP-10 (10%)	4,17	13,5
BP-15 (15%)	3,96	17,8
BP-20 (20%)	3,73	22,7

### Modulus Elastisitas

Hasil pengujian modulus elastisitas pada umur 28 hari disajikan pada Gambar 5 dan Tabel 8. Terdapat penurunan modulus elastisitas seiring dengan peningkatan persentase substitusi plastik. Modulus elastisitas untuk BP-0, BP-5, BP-10, BP-15, dan BP-20 berturut-turut adalah 24,3 GPa, 22,8 GPa, 21,2 GPa, 18,9 GPa, dan 16,7 GPa.

Tabel 8. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton pada Umur 28 Hari

Kode Campuran	Modulus Elastisitas (GPa)	Penurunan (%)
BP-0 (0%)	24,3	0
BP-5 (5%)	22,8	6,2
BP-10 (10%)	21,2	12,8
BP-15 (15%)	18,9	22,2
BP-20 (20%)	16,7	31,3

### Analisis Ekonomi dan Lingkungan

Analisis ekonomi menunjukkan potensi penghematan biaya material sebesar 3,2%, 6,8%, 9,5%, dan 12,3% untuk substitusi 5%, 10%, 15%, dan 20%. Dari segi lingkungan, substitusi 10% plastik dalam produksi beton untuk proyek perumahan skala menengah (5000 m<sup>3</sup> beton) dapat mengalihkan sekitar 40 ton limbah plastik dari tempat pembuangan akhir.

Tabel 9. Analisis Ekonomi Penggunaan Limbah Plastik dalam Beton

Kode Campuran	Biaya Material (Rp/m <sup>3</sup> )	Penghematan (%)	Biaya per MPa (Rp/MPa)	Efisiensi Biaya (%)
BP-0 (0%)	1.250.000	0	45.620	0
BP-5 (5%)	1.210.000	3,2	46.183	-1,2
BP-10 (10%)	1.165.000	6,8	46.414	-1,7
BP-15 (15%)	1.131.250	9,5	50.728	-11,2
BP-20 (20%)	1.096.250	12,3	55.088	-20,8

Tabel 10. Analisis Dampak Lingkungan Penggunaan Limbah Plastik dalam Beton

Parameter		Substitusi 0%	Substitusi 5%	Substitusi 10%	Substitusi 15%	Substitusi 20%
Penggunaan Plastik (kg/m <sup>3</sup> )		0	19,1	38,2	57,3	76,4
Pengalihan Limbah Plastik pada Proyek 5000 m <sup>3</sup> (ton)		0	95,5	191	286,5	382
Estimasi Pengurangan Jejak Karbon (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )		0	8,3	16,5	24,8	33,1
Pengurangan Ekstraksi Pasir Alam (kg/m <sup>3</sup> )		0	37,6	75,2	112,8	150,4

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa :

1. Substitusi limbah plastik PET sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam campuran beton berpengaruh terhadap sifat mekanis beton, dengan kecenderungan penurunan kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas seiring dengan peningkatan persentase substitusi.
2. Persentase optimal substitusi limbah plastik yang masih memenuhi persyaratan beton struktural ( $f_c' > 25$  MPa) adalah 10%, dengan penurunan kuat tekan sebesar 8,3% dibandingkan beton normal.
3. Beton dengan substitusi limbah plastik memiliki keunggulan berupa berat yang lebih ringan (hingga 7,2% pada substitusi 10%) dan penyerapan air yang lebih rendah (hingga 13,5% pada substitusi 10%), yang mengindikasikan potensi peningkatan durabilitas.
4. Analisis ekonomi menunjukkan potensi penghematan biaya material sebesar 6,8% pada substitusi 10% dengan tetap mempertahankan kinerja struktural yang memadai.
5. Penggunaan limbah plastik dalam beton berpotensi memberikan manfaat lingkungan signifikan melalui pengalihan limbah plastik dari tempat pembuangan akhir.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 211. (1991). ACI 211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- ASTM C192/C192M-19. (2019). Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C469/C469M-14. (2014). Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C642-13. (2013). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 1974:2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Jakarta: BSN.
- Ismail, Z. Z., & Al-Hashmi, E. A. (2018). Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement. *Waste Management*, 28(11), 2041-2047.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., & Law, K. L. (2021). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.
- Journal of Cleaner Production*, 112, 473-482.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2023). Statistik Pengelolaan Sampah Indonesia 2022. Jakarta: KLHK.
- Purwanto, A., Susilorini, R. M. I., & Wibowo, A. (2022). Karakteristik limbah plastik di Indonesia dan potensi pemanfaatannya untuk material konstruksi. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 29(2), 107-118.
- Sharma, R., & Bansal, P. P. (2019). Use of different forms of waste plastic in concrete - A review.
- Siddique, R., Khatib, J., & Kaur, I. (2020). Use of recycled plastic in concrete: A review. *Waste Management*, 28(10), 1835-1852.