Substitusi Sampah Plastik sebagai Agregat Kasar Pada Inovasi Saluran Beton Precast Ramah Lingkungan

Riyan Benny Sukmara[1], Hijriah*[2], Intan Dwi Wahyu Setyorini[3], Ahmad Zainun[4], Muhammad Ilmi Khairul Ikhsan[5] , Arum Ananda Putri [6], Choirulahnisa Nur Priono[7]

[1,2, 4,5,6] Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Kalimantan
[3,7] Program Studi Teknik Lingkungan, Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Kalimantan
e-mail: [1] bennysukmara@lecturer.itk.ac.id, [2] hijriah@lecturer.itk.ac.id, [3] intan@lecturer.itk.ac.id, [4] 07211055@student.itk.ac.id, [5] 07211003@student.itk.ac.id, [6] 07191012@student.itk.ac.id, [7] 13201015@student.itk.ac.id

Abstract

The problem of plastic waste in Indonesia is a classic issue that is still a difficult challenge to overcome. The habit of using plastic by the community, especially plastic bags, is still common and often results in the accumulation of waste in the surrounding environment. This plastic waste can potentially cause flooding problems if it accumulates in drainage channels. This study aims to utilize plastic bag waste as one of the concrete mixtures in precast drainage channels. This plastic waste is used as a substitute for coarse aggregate in concrete mixtures with percentage variations ranging from 10% to 50% of conventional coarse aggregate. The expected concrete quality target is to reach concrete quality class II, with a compressive strength of between 16 and 24 MPa. This study will analyze the application of the circular economy concept in utilizing plastic waste. This research is expected to provide economic value for plastic waste and can be used as an alternative material in concrete mixtures. This concept aligns with the medium-term program of the Republic of Indonesia government (RPJMN) which aims to develop sustainable development with low carbon emissions.

Keywords: *Plastic Waste, Concrete, Circular Economy*

Abstrak

Permasalahan mengenai sampah plastik di Indonesia merupakan isu klasik yang masih menjadi tantangan yang sulit diatasi. Kebiasaan penggunaan plastik oleh masyarakat, terutama kantong plastik, masih umum dan seringkali berujung pada akumulasi limbah di lingkungan sekitar. Sampah plastik tersebut memiliki potensi untuk menyebabkan masalah banjir apabila menumpuk di dalam saluran drainase. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan sampah kantong plastik sebagai salah satu bahan campuran beton pada saluran drainase pracetak. Sampah plastik ini digunakan sebagai substitusi agregat kasar dalam campuran beton dengan variasi persentase mulai dari 10% hingga 50% dari jumlah agregat kasar konvensional. Target kualitas beton yang diharapkan adalah mencapai kelas mutu beton II, dengan kuat tekan antara 16 hingga 24 MPa. Dalam penelitian ini akan menganalisis penerapan konsep ekonomi sirkular dalam memanfaatkan sampah plastik. Melalui penelitian ini, diharapkan memberikan nilai ekonomis bagi sampah plastik dan dapat dijadikan sebagai bahan alternatif dalam campuran beton. Konsep ini sejalan dengan program jangka menengah pemerintah Republik Indonesia (RPJMN) yang bertujuan untuk mengembangkan pembangunan berkelanjutan dengan emisi karbon rendah.

Kata kunci: *Limbah Plastik, Beton, Ekonomi Sirkular*

1. Pendahuluan

Pertumbuhan sampah plastik meningkat secara signifikan di seluruh dunia (1) yang terutama dipengaruhi oleh laju pertumbuhan penduduk yang cepat dan fenomena urbanisasi (2). Hal ini juga terjadi di Indonesia, dimana permasalahan sampah di Indonesia masih menjadi hal yang belum bisa terselesaikan sepenuhnya karena ketergantungan masarakat pada penggunaan plastik sangat besar. Mengacu pada data yang bersumber dari Sistem Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), jumlah sampah plastik di Indonesia pada tahun 2023 adalah 18.39% dan sebagian besar sampah plastik tersebut ditimbun di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) tanpa ada pengolahan atau pemanfaatan (3). Sampah plastik yang tidak terkelola dengan baik dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan membahayakan kesehatan, termasuk risiko banjir dan penyakit akibat bioakumulasi (4).

Jumlah sampah plastik yang besar, dapat pula menyebabkan permasalahan lain misalnya, banjir. Hal ini karena sampah-sampah tersebut masuk kedalam system drainase, sungai dan menyebabkan penyumbatan saluran yang pada akhirnya dapat menyebabkan banjir, terutama pada saat musim penghujan (6). Kota Balikpapan, sebagai pintu gerbang utama IKN Nusantara, mengalami masalah banjir yang signifikan (7). Dalam rangka upaya pengelolaan banjir, sistem drainase yang baik menjadi ujung tombak berhasil tidaknya program penanganan banjir tersebut (8). Ketersediaan saluran drainase yang memadai menjadi krusial agar dapat mengalirkan debit limpasan sesuai dengan kapasitas yang direncanakan (9).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, sampah plastik seperti *High Density Poly Ethylene* (HDPE), *Low Density Poly Ethylene* (LDPE) dan *Polyethylene Terephthalate* (PET) telah terbukti dapat digunakan sebagai bahan konstruksi, termasuk dalam pembuatan beton dan *paving block* hingga mencapai 30% (1,5,10–12). Selain itu, pemanfaatan sampah plastik juga dapat meningkatkan nilai ekonomi dari sampah itu sendiri dan juga memberikan dampak postif terhadap perekonomian masyarakat melalui kegiatan pemilahan dan daur ulang sampah oleh bank sampah, terutama bank sampah yang ada di Balikpapan. Hal ini dapat menjadi bagian dari upaya implementasi dari konsep ekonomi sirkular yang didefinisikan sebagai langkah pembangunan berkelanjutan(13-16).

Berdasarkan uraian tersebut, maka diperlukan studi untuk eksploitasi potensi sampah plastik sebagai strategi untuk mengurangi akumulasi serta mengubahnya menjadi komponen konstruksi yang berkelanjutan secara ekonomis. Di tengah tantangan banjir dan pengelolaan drainase di Balikpapan, penelitian ini menggali potensi penggunaan kantong plastik sebagai bahan dalam pembuatan beton untuk saluran drainase pracetak. Sampah plastik akan diolah menjadi bentuk padat dan digunakan sebagai pengganti agregat kasar dalam komposisi beton dengan variasi substitusi 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Tujuannya adalah menghasilkan beton dengan kualitas setara Kelas II (tekanan 16-24 MPa) yang sesuai dengan standar untuk saluran pracetak, serta mereduksi bobotnya guna memfasilitasi kemudahan mobilisasi dan pemasangan di lapangan. Melalui penelitian ini diharapkan pengelolaan sampah plastik sebagai alternatif strategis, terutama dalam menghadapi dampak pemindahan Ibukota Negara ke IKN Nusantara.



(a.)



(b.)

Gambar 1. (a.) Foto Sampel Limbah LDPE sedang Proses Pengolahan, (b.) Limbah LDPE setelah di Olah Menjadi Agregat Kasar

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode eksperimental laboratorium untuk mengetahui sifat-sifat fisis dan mekanis material penyusun beton. Teknik analisis yang digunakan adalah analisis perbandingan kekuatan tekan dan kekuatan tarik lentur antara beton konvensioal dengan beton variasi dari limbah plastik.



(a.)



(b.)

Gambar 2. (a.) Pengujian Karakteristik Fisis Agregat Kasar, (b.) Pengujian Karakteristik Fisis Agregat Halus

Proses penelitian dilakukan di Laboratorium Terpadu Institut Teknologi Kalimantan dengan beberapa tahapan berikut:

1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan merupakan tahap awal dari rangkaian kegiatan sebelum memulai pengumpulan dan pengolahan data untuk mendapatkan gambaran penelitian. Penelitian diawali dengan pencarian pustaka-pustaka yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilaksanakan berupa penelitian terdahulu serta dasar teori yang dapat mendukung penelitian. Dalam tahap awal ini disusun hal-hal penting yang harus segera dilakukan meliputi perumusan dan identifikasi masalah, observasi dan peninjauan langsung di lokasi masalah, penentuan kebutuhan data, perencanaan dan pengumpulan data, desain perencanaan.

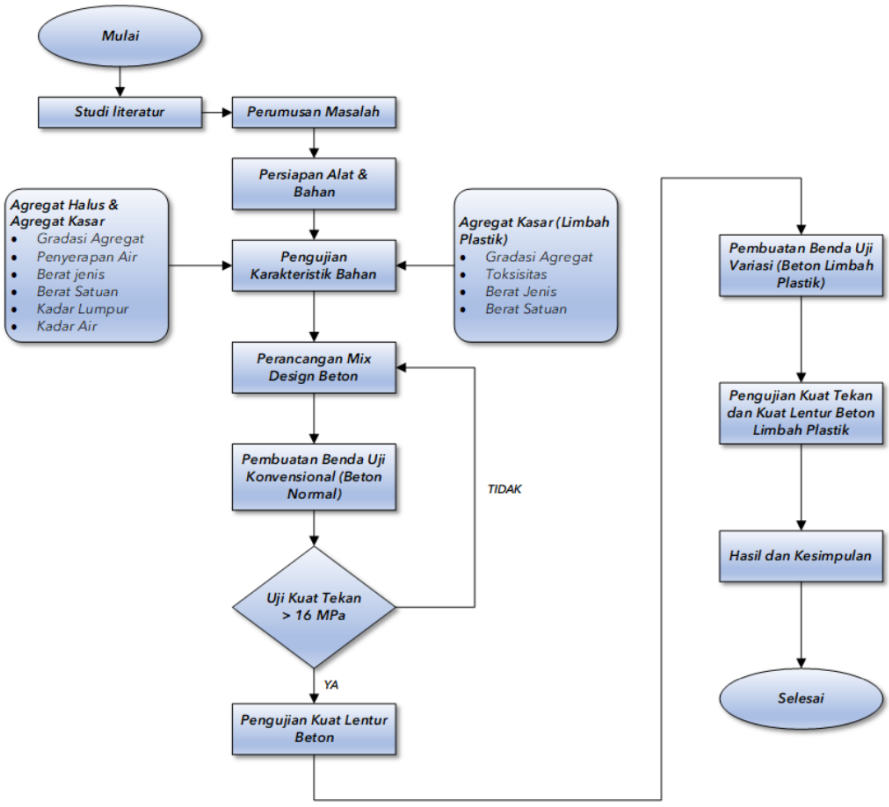
2. Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan penelitian ini dibagi menjadi 5 tahapan, yaitu tahap pengumpulan data, persiapan bahan dan alat, pengujian karakteristik material penyusun beton, pembuatan dan pengujian eco-material beton, analisis kekuatan beton.

3. Tahap Akhir

Pada tahap ini dibuat kesimpulan penelitian yang didapatkan dari semua hasil analisis yang kemudian dituangkan dalam bentuk laporan akhir dan jurnal penelitian. Penelitian ini akan menghasilkan kajian berupa inovasi pemanfaatan limbah plastik sebagai pengganti sebagian agregat kasar dalam campuran beton. Selain itu, luaran penelitian juga kemudian disusun dalam 1 paper yang akan dipublikasikan dalam Jurnal Nasional bereputasi (S4).

Berikut merupakan alur penelitian yang akan disajikan dalam gambar



Gambar 3. *Flow Chart* Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Kadar Air Agregat Halus dan Kasar

Tujuan dari pengujian kadar air adalah untuk mengetahui kandungan air pada suatu agregat. Kadar air berpengaruh pada kebutuhan air untuk koreksi proporsi campuran beton.

Tabel 1. Perhitungan Kadar Air Agregat Halus

Uraian	Nilai	Satuan
Massa Loyang (W1)	217.3	gr
Massa Loyang + Agregat Halus (W2)	717.3	gr
Massa Agregat Halus (W3	500	gr
Massa Loyang + Agregat Halus Kering (W4)	710.8	gr
Massa Agregat Halus Kering (W5)	493.5	gr
Kadar Air	1.3	%

Tabel 2. Perhitungan Kadar Air Agregat Kasar

Uraian	Nilai	Satuan
Massa Loyang (W1)	212	gr
Massa Loyang + Agregat Kasar (W2)	1212	gr
Massa Agregat Kasar (W3	1000	gr
Massa Loyang + Agregat Kasar Kering (W4)	1204.4	gr
Massa Agregat Kasar Kering (W5)	992.4	gr
Kadar Air	0.8	%

Hasil dari pengujian kadar air agregat halus sebesar 1.3% dimana telah memenuhi persyaratan ASTM C187-98 dan SNI 1971: 2011 dalam kisaran 1% - 5%. Hal ini dikarenakan kualitas pasir yang cukup baik yang digunakan ketika melakukan pengujian material. Nilai ini juga mempengaruhi kemampuan agregat halus untuk merekat pada saat pencampuran bahan beton dan juga dapat mempengaruhi kualitas beton itu sendiri. Sedangkan kadar air agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah 0.8% dimana telah memenuhi persyaratan SNI 1969:2008 dalam kisaran 0.5% hingga 2%. Hal ini dikarenakan kualitas agregat kasar yang cukup baik yang digunakan ketika melakukan pengujian material. Nilai ini juga mempengaruhi kemampuan agregat kasar untuk merekat pada saat pencampuran bahan beton dan juga dapat mempengaruhi kualitas beton itu sendiri.

3.2 Pengujian Kadar Lumpur

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kandungan lumpur pada suatu agregat terutama agregat halus. Adapun hasil analisis data dari pengujian dan perhitungan berat kadar lumpur agregat halus yang dilakukan berdasarkan SNI 4804-1998. Setelah dilakukan pengujian kadar lumpur terhadap agregat halus diperoleh kadar lumpur agregat halus 5.88 %sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil data pengujian tersebut belum memenuhi syarat karena sesuai dengan ketentuan kadar lumpur dari SNI 4804-1998 yaitu kurang dari 5%. Sehingga dilakukan *treatment* khusus yaitu mencuci dan menyaring agregat halus untuk mengurangi kadar lumpurnya.

Tabel 3. Perhitungan Kadar Lumpur Agregat Halus

Uraian	Nilai	Satuan
Tinggi Pasir (A)	3.2	cm
Tinggi Lumpur	0.2	cm
Tinggi Pasir + Lumpur (B)	3.4	cm
Kadar Lumpur	5.88	%

3.3 Pengujian Berat Jenis

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis yang terjadi pada suatu agregat. Pengujian berat jenis agregat halus berdasarkan dengan ASTM C128-01 dan SNI 1969:2008. Sedangkan pengujian berat jenis agregat kasar berdasarkan dengan ASTM C128-01 dan SNI 1970:1990.

Tabel 4. Perhitungan Berat Jenis Agregat Halus

Uraian	Nilai	Satuan
Berat Piknometer Kosong	161.7	gr
Berat Benda uji Kering Oven (A)	497.07	gr
Berat Piknometer + Air (B)	658	gr
Berat Piknometer + Benda Uji + Air (C)	969.9	gr
Berat Benda Uji Kondisi Jenuh Kering Permukaan (S)	500	gr
Bahan Jenis Curah Kering	2.64	gr
Berat jenis SSD	2.66	gr
Berat jenis Semu	2.68	gr
Penyerapan Air	0.59	%

Tabel 5. Perhitungan Berat Jenis Agregat Kasar

Uraian	Nilai	Satuan
Berat Benda uji Kering (A)	991.7	gr
Berat Benda Uji Jenuh Kering Permukaan (B)	1000	gr
Berat Benda Uji dalam Air (C	618	gr
Bahan Jenis Curah Kering	2.60	gr
Berat jenis SSD	2.60	gr
Berat jenis Semu	2.65	gr
Penyerapan Air	0.84	%

Berdasarkan hasil dan perhitungan data pengujian berat jenis agregat halus, maka ditarik kesimpulan bahwa nilai berat jenis agregat halus adalah 2.64 gr/cm^3. cm^3. Sedangkan untuk nilai berat jenis agregat kasar adalah 2.60 gr/ cm^3. Berdasarkan syarat yang berlaku pada ASTM dan SNI, baik agregat kasar maupun agregat halus telah memenuhi standar yaitu di antara nilai berat jenis 2.4 gr/ cm^3 hingga 2.7 gr/ cm^3.

3.4 Pengujian Berat Volume

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai berat volume pada suatu agregat. Adapun hasil analisis data pengujian berat volume agregat halus dilakukan berdasarkan ASTM C29-91 dan SNI 4808:1998. Sedangkan pengujian berat volume agregat halus dilakukan berdasarkan ASTM C29-91 dan SNI 4808:1998

Tabel 6. Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Halus

Uraian	Rojok	Pukul	Goyang	Satuan
Berat Silinder	6680	6600	6600	gr
Berat silinder + Pasir	9340	9370	9170	gr
Berat Pasir	2660	2770	2570	gr
Volume Silinder	1570	1570	1570	cm3

Uraian	Rojok	Pukul	Goyang	Satuan
Berat Volume	1.694	1.764	1.637	gr/ cm3
Rata Rata		1.699		gr/ cm3

Tabel 7. Hasil Data Pengujian Berat Volume Agregat Kasar

Uraian	Rojok	Pukul	Goyang	Satuan
Berat Silinder	6783	6702	6642	gr
Berat silinder + Pasir	9282	9394	9348	gr
Berat Pasir	2499	2692	2706	gr
Volume Silinder	1570	1570	1570	cm3
Berat Volume	1.592	1.715	1.724	gr/ cm3
Rata Rata		1.677		gr/ cm3

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan data percobaan berat volume agregat halus pada Tabel diatas, maka ditarik kesimpulan bahwa nilai berat volume dari agregat halus adalah 1.699gr/cm³ dan agregat kasar sebesar 1.677gr/cm³ yang didapatkan dari nilai rata-rata berat volume tiga metode pengujian yang dilakukan. Berdasarkan dengan ASTM C29-91dan SNI 4808:1998, nilai berat volume agregat halus maupun kasar telah memenuhi syarat yaitu di antara nilai berat volume 1.4 gr/cm³ hingga 1.7 gr/cm³.

3.5 Pengujian Analasis Ayakan

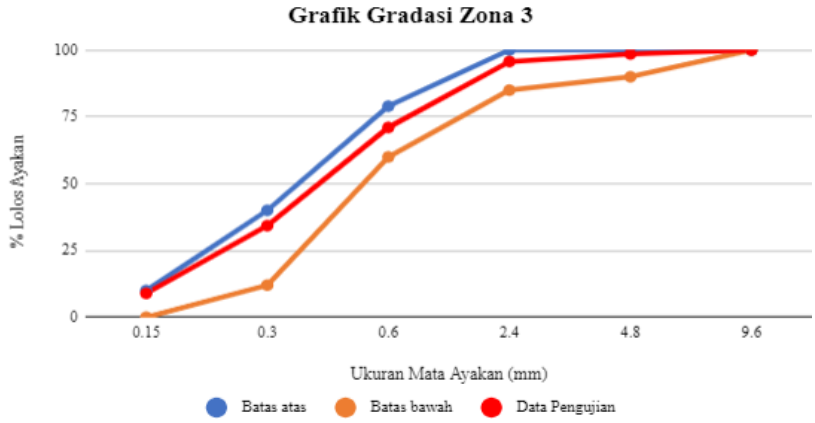
Tujuan pengujian analisa ayakan pada agregat halus adalah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran pada agregat.

Tabel 8. Hasil Analisis Ayakan Agregat Halus Zona 3

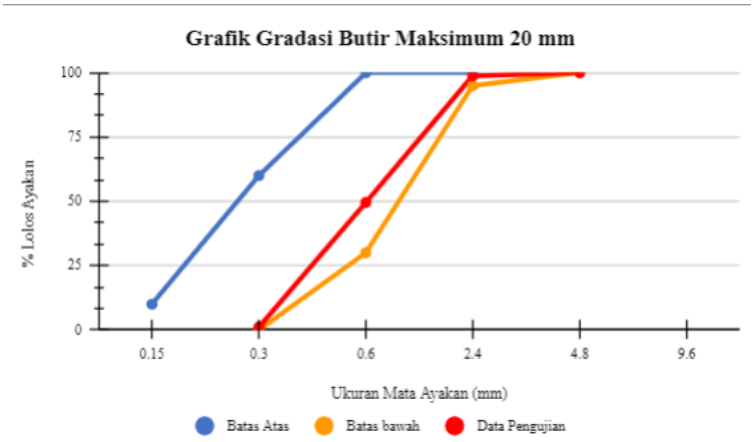
Ukuran mata ayakan (mm)	Batas atas	Batas bawah	Data Pengujian	Keterangan
0.15	10	0	8.92	OK
0.3	40	12	34.26	OK
0.6	79	60	71.04	OK
2.4	100	85	95.71	OK
4.8	100	90	98.55	OK
9.6	100	100	100.00	OK

Tabel 9. Hasil Analisis Ayakan Agregat Kasar Zona 2

Ukuran mata ayakan (mm)	Batas atas	Batas bawah	Data Pengujian	Keterangan
4.8	10	0	1.18	OK
9.6	60	30	49.56	OK
19	100	95	98.76	OK
38	100	100	100.00	OK
4.8	10	0	1.18	OK
9.6	60	30	49.56	OK



Gambar 4. Grafik Gradasi Agregat Halus Zona 3



Gambar 5. Grafik Gradasi Agregat Kasar Zona 2

Berdasarkan grafik diatas dapat kita ketahui bahwa hasil analisis ayakan agregat halus dari zona 1-4 maka gradasi agregat halus yang digunakan pada penelitian ini termasuk pada kategori zona tiga. Sedangkan hasil analisis ayakan agregat kasar dari zona 1-4, yang memenuhi syarat gradasi adalah pada zona dua.

3.6 Hasil Rancangan *Mix Design* Beton

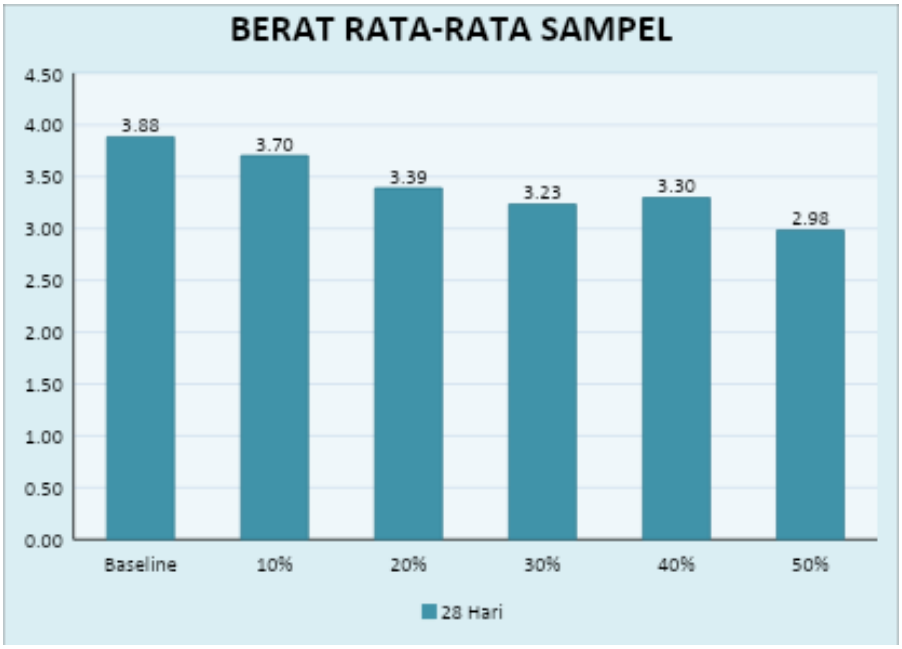
Dalam menghitung proporsi campuran kebutuhan material atau *mix design* beton, dilakukan perhitungan berdasarkan standar acuan SNI 2834:2000. Dalam penelitian ini digunakan balok beton ukuran 15 x 15 x 60 cm, yang memiliki volume sebesar 0.0135 m^3. Adapun rekapitulasi proporsi campuran beton pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 10. Rekapitulasi Campuran Beton Silinder

Variasi Sampel	Kebutuhan Material Beton					
	Semen	LDPE	Agregat Halus (Pasir)	Agregat kasar (Kerikil)	Air	Satuan
Baseline (Normal)	2.93	0.00	6.22	10.02	1.54	kg
Variasi 10% LDPE	2.93	1.00	6.22	9.02	1.54	kg
Variasi 20% LDPE	2.93	2.00	6.22	8.01	1.54	kg
Variasi 30% LDPE	2.93	3.01	6.22	7.01	1.54	kg

Variasi Sampel	Kebutuhan Material Beton					
	Semen	LDPE	Agregat Halus (Pasir)	Agregat kasar (Kerikil)	Air	Satuan
Variasi 40% LDPE	2.93	4.01	6.22	6.01	1.54	kg
Variasi 50% LDPE	2.93	5.01	6.22	5.01	1.54	kg

3.7 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton



Gambar 7. Grafik Berat Beton

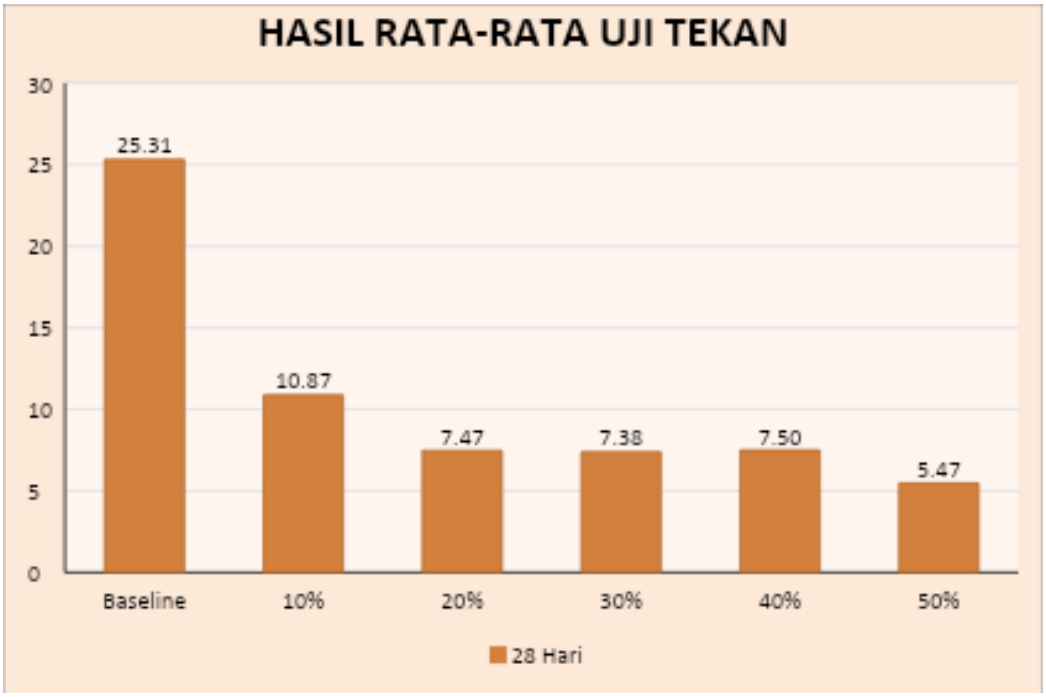
Berdasarkan data berat benda uji, terlihat bahwa penambahan campuran dengan variasi 10% hingga 50% berpengaruh terhadap penurunan berat benda uji dibandingkan dengan kondisi 0% (*base line).* Pada kondisi 0%, berat benda uji memiliki rata-rata yang tertinggi, yaitu sekitar 3,88 kg. Setelah dilakukan penambahan campuran sebesar 10%, berat benda uji mengalami penurunan dengan rata-rata sekitar 3,70 kg. Penurunan ini semakin jelas terlihat pada variasi 20% dan 30%, dengan rata-rata berat benda uji berturut-turut sebesar 3,39 kg dan 3,23 kg. Meskipun pada campuran 40% rata-rata berat benda uji mengalami sedikit peningkatan menjadi 3,30 kg, nilainya masih lebih rendah dibandingkan *base line*. Penurunan paling signifikan terjadi pada campuran 50%, di mana rata-rata berat benda uji hanya mencapai 2,98 kg.

Berat jenis plastik lebih ringan daripada batuan, substitusi plastik membuat beton menjadi lebih ringan, tetapi pada saat yang sama bisa menurunkan kepadatan dan menyebabkan distribusi tegangan tidak merata ketika dibebani, yang akhirnya berdampak pada kuat tekan. Secara keseluruhan, hasil data menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase campuran yang digunakan, semakin rendah berat benda uji. Hal ini menunjukkan bahwa material substitusi yang digunakan berpengaruh terhadap berkurangnya densitas atau kepadatan benda uji. Pada penelitian ini menggunakan kantong plastik sebagai substitusi agregat kasar. Jenis agregat dari plastik dengan berat yang ringan cenderung membuat beton lebih *porous*. Beton dengan densitas yang rendah cenderung memiliki ikatan antar partikel yang kurang rapat, sehingga menghasilkan kuat tekan yang rendah karena kelemahan intrinsik dari agregat tersebut.

Adapun rekapitulasi hasil dari pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 11. Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Variasi Sampel	Uji Tekan (MPa)			Rata-rata (MPa)
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
Baseline	27.99	24.43	23.51	25.31
Variasi LDPE 10%	12.49	11,92	8,20	10.87
Variasi LDPE 20%	6.75	8.50	7.16	7.47
Variasi LDPE 30%	6.64	7.40	8.10	7.38
Variasi LDPE 40%	9.01	6.12	7.36	7.50
Variasi LDPE 50%	5.26	5.40	5.74	5.47



Gambar 6. Grafik Kuat Tekan Beton

Dari gambar 5 di atas, dapat diketahui bahwa adanya pengaruh penurunan kuat tekan benda uji setelah 28 hari terhadap variasi persentase campuran. Pada beton normal (*baseline*) memiliki kuat tekan tertinggi dengan rata-rata sebesar 25,31 MPa. Namun, setelah dilakukan penambahan Kantong Plastik (LDPE) dengan variasi 10% hingga 50%, terjadi penurunan yang signifikan pada kuat tekan benda uji.

Pada beton dengan variasi LDPE sebesar 10%, rata-rata kuat tekan mengalami penurunan menjadi 10,87 MPa, yang menunjukkan beton mengalami penurunan dengan persentase sebesar 57,05% dari nilai baseline. Selanjutnya, pada beton dengan variasi LDPE sebesar 20%, rata-rata kuat tekan mengalami penurunan lebih drastis menjadi 7,47 MPa. Penurunan nilai kuat tekan terus berlanjut pada variasi LDPE sebesar 30% dan 40%, dengan rata-rata kuat tekan masing-masing sebesar 7,38 MPa dan 7,50 MPa. Meskipun demikian, pada campuran 40%, terjadi sedikit peningkatan dibandingkan variasi LDPE sebesar 20% dan 30%, meskipun masih jauh di bawah beton normal (*baseline*).

Penurunan paling signifikan terjadi pada beton dengan variasi LDPE sebesar 50%, di mana rata-rata kuat tekan hanya mencapai 5,47 MPa, yang menunjukkan nilai kuat tekan tersebut merupakan nilai terendah. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi persentase campuran, semakin rendah nilai kuat tekan benda uji. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan material plastik belum mencapai kuat tekan beton rencana sebesar 24 MPa. Namun, penambahan material plastik dari persentase 10-40 %, masih memenuhi syarat kuat tekan beton untuk mutu kelas I sebagai beton non-struktural yang digunakan untuk lantai kerja dan jalan lingkungan kendaraan ringan. Sehingga

penggunaan kantong plastik sebagai subtitusi agregat kasar dapat dijadikan sebagai bahan alternatif dalam campuran beton.

Substitusi sampah plastik sebagai agregat kasar dalam campuran beton berpotensi menurunkan kuat tekan beton karena beberapa faktor. Secara mekanis, plastik memiliki modulus elastisitas dan kekuatan tekan yang lebih rendah dibandingkan agregat alam konvensional. Selain itu, sifat permukaan plastik yang halus dan hidrofobik menghambat pembentukan ikatan kuat antara agregat dan pasta semen, sehingga memperlemah zona transisi antar fasanya. Berat jenis plastik yang lebih rendah juga mengakibatkan penurunan kepadatan beton, yang berdampak pada tidak meratanya distribusi tegangan saat beton menerima beban. Di sisi lain, bentuk dan penyebaran partikel plastik yang tidak optimal berpotensi meningkatkan jumlah rongga di dalam beton, sehingga memperbesar porositas dan menurunkan performa mekanis secara keseluruhan.

3.8 Pola Retak Benda Uji



Gambar 8. Pola Retak Benda Uji tanpa variasi Kantong Plastik

Dari ketiga gambar diatas, pada sampel 1 memiliki pola retak yang termasuk kedalam jenis pola retak columnar dikarenakan retakan yang terjadi pada sampel ini tidak tersebar secara merata pada benda uji akibat permukaan sampel yang kurang merata. Kemudian, pada sampel 2 memiliki pola retak yang termasuk kedalam jenis pola retak di ujung silinder dikarenakan retakan hanya tersebar di ujung silinder akibat *capping* yang tidak merata. Lalu, pada sampel 3 memiliki pola retak yang termasuk kedalam jenis pola retak geser (*shear*) dikarenakan retakan yang terjadi pada sampel ini tidak tersebar secara merata pada benda uji.





Gambar 9. Pola Retak Benda Uji Variasi Kantong Plastik

Pada gambar 8 diatas, secara berturut turut merupakan masing-masing 1 sampel silencer beton dari setiap variasi kantong plastic 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Sampel 1 memiliki pola retak yang termasuk kedalam jenis pola retak geser (*shear*) dimana retak merambat dan membentuk sudut. Kemudian, pada sampel 2 memiliki pola retak yang termasuk kedalam jenis pola retak columnar dikarenakan retakan yang terjadi pada sampel ini tidak tersebar secara merata pada benda uji akibat permukaan sampel yang kurang merata. Lalu, pada sampel 3 memiliki pola retak yang termasuk kedalam jenis pola retak di ujung silinder dikarenakan retakan hanya tersebar di ujung silinder akibat *capping* yang tidak merata.
Untuk sampel 5 memiliki pola retak yang termasuk kedalam jenis pola retak geser (*shear*) dimana retak merambat dan membentuk sudut. Lalu, pada sampel 3 memiliki pola retak yang termasuk kedalam jenis pola retak columnar dikarenakan retakan yang terjadi pada sampel ini tidak tersebar secara merata pada benda uji akibat permukaan sampel yang kurang merata. Sedangkan sampel 6 memiliki pola retak yang termasuk kedalam jenis pola retak kerucut dan pecah (*cone and split*) dikarenakan tidak seragamnya saat proses pengadukan agregat kasar saat pembuatan benda uji sehingga pembebanan yang tersebar tidak merata.

3.9 Hasil Uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP)

Pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) merupakan aspek yang sangat penting dalam menjaga lingkungan dan kesehatan manusia. Salah satu metode yang paling sering digunakan untuk menentukan karakteristik limbah B3 adalah *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* atau lebih dikenal dengan TCLP. Metode ini bertujuan untuk mengetahui potensi pencemaran dari limbah B3 ketika limbah tersebut terpapar air hujan atau cairan lainnya.
Uji TCLP digunakan untuk menentukan potensi pelepasan zat beracun dari material (seperti beton) ke lingkungan jika terkena air atau cairan lainnya. Jika hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar zat beracun tersebut melebihi batas yang ditetapkan oleh regulasi, limbah tersebut diklasifikasikan sebagai limbah B3 yang berbahaya dan memerlukan penanganan khusus. Metode pengujian yang digunakan adalah standar USEPA 1311 untuk logam berat, yang memastikan hasil dapat dibandingkan dengan batasan regulasi seperti yang ditetapkan oleh EPA.

Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Pengujian TCLP

Parameter	Satuan	Metode Test	Hasil
Arsenik/ Arsenic (As)	mg/L	USEPA 1311-92	< 0.6
Barium/ Barium (Ba)	mg/L	USEPA 1311-93	0.135
Kadmium/ Cadmium (Cd)	mg/L	USEPA 1311-94	0.003
Nikel/ Nickel (Ni)	mg/L	USEPA 1311-95	0.057
Perak/ Silver (Ag)	mg/L	USEPA 1311-96	< 0.007

Parameter	Satuan	Metode Test	Hasil
Merkuri/ M ercury (Hg)	mg/L	USEPA 1311-97	0.021
Selenium/ Selenium (Se)	mg/L	USEPA 1311-98	< 0.4
Seng/ Zinc (Zn)	mg/L	USEPA 1311-99	0.016
Tembaga/ Copper (Cu)	mg/L	USEPA 1311-100	0.142
Timbal/ Lead (Pb)	mg/L	USEPA 1311-100	0.149

Pengujian TCLP pada penelitian ini dilakukan pada sampel beton dengan kuat tekan optimum, yaitu pada variasi penggunaan kantong plastik sebesar 10%. Berdasarkan hasil pengujian yang tertera pada Tabel 1.29 diatas, diperoleh bahwa semua parameter logam berat berada jauh di bawah batasan regulasi TCLP dari EPA. Limbah kantong plastik dalam beton tidak menyebabkan pencemaran lingkungan akibat pelepasan logam berat. Material ini aman digunakan untuk aplikasi struktural maupun non-struktural tanpa risiko toksisitas yang tinggi. Sehingga beton dengan limbah plastik dapat dijadikan sebagai alternatif material ramah lingkungan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji tekan beton menunjukkan bahwa penambahan material plastik belum mencapai kuat tekan beton rencana sebesar 24 MPa. Namun, penambahan material plastik dari persentase 10-40 %, masih memenuhi syarat kuat tekan beton untuk mutu kelas I sebagai beton non-struktural yang digunakan untuk lantai kerja dan jalan lingkungan kendaraan ringan. Sehingga penggunaan kantong plastik sebagai subtistusi agregat kasar dapat dijadikan sebagai bahan alternatif dalam campuran beton. Setelah dilakukan uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) diperoleh bahwa beton dengan limbah plastik dapat dijadikan alternatif material ramah lingkungan, karena tidak menimbulkan pelepasan logam berat yang berbahaya bagi kesehatan.

Daftar Pustaka

Adiyanto O, Mohamad E, Razak JA. 2022. Systematic Review of Plastic Waste as Eco- Friendly Aggregate for Sustainable Construction. Int J Sustain Constr Eng Techno;13(2):243–57.

Agrawal R, Singh SK, Singh S, Prajapat DK, Sudhanshu S, Kumar S, et al. 2023. Utilization of Plastic Waste in Road Paver Blocks as a Construction Material. CivilEng ;4(4):1071–82.

Ahmed N. 2023. Utilizing plastic waste in the building and construction industry: A pathway towards the circular economy. Constr Build Mater;383(131311).

Al-Sinan MA, Bubshait AA. 2022. Using Plastic Sand as a Construction Material toward a Circular Economy: A Review. Sustain;14(11).

Ali K, Saingam P, Qureshi MI, Saleem S, Nawaz A, Mehmood T, et al. 2023. Influence of Recycled Plastic Incorporation as Coarse Aggregates on Concrete Properties. Sustain;15(7).

Ariyaningsih, Shaw R. 2022. Integration of SETS (Social – Ecological – Technological Systems) Framework and Flood Resilience Cycle for Smart Flood Risk Management. Smart Cities; 3(4):1312–35.

Bagastyo AY, Anggrainy AD, Maharani Wiguna Hidayat Liang MS. 2023. Assessment of attitude and participation level among the households and local merchants toward single-use plastic waste management: A case study in Balikpapan Municipality, Indonesia. Case Stud Chem Environ Eng [Internet];7(100361). Available from: https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100361

Islam MJ. 2022. Comparative Study of Concrete with Polypropylene and Polyethylene Terephthalate Waste Plastic as Partial Replacement of Coarse Aggregate. Adv Civ Eng;2022

Najwa Ibrahim R, Aliza Ahmad N. 2022. Stormwater Drainage Design (Case Study: UTHM Campus). J Adv Environ Solut Resour Recover [Internet] ;2(1):1–7. Available from: http://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/jaesrr

R M, Chakrawarthi V, Nagaraju TV, Avudaiappan S, Awolusi TF, Roco-Videla Á, et al. 2023. Performance of recycled Bakelite plastic waste as eco-friendly aggregate in the concrete beams. Case Stud Constr Mater;18.

Rini IDWS, Yani FH, Hayati RN. 2023. Evaluasi Pengelolaan Sampah di Kelurahan Baru Tengah. SPECTA J Technol;7(2):516–23.

S P, P R. 2022. Waste recycled plastic granules substitute for aggregate in concrete – Review. Mater Today Proc [Internet]; 65:1441–8. Available from: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.405

Sau D, Shiuly A, Hazra T. 2024.Utilization of plastic waste as replacement of natural aggregates in sustainable concrete: effects on mechanical and durability properties [Internet]. Vol. 21, International Journal of Environmental Science and Technology. Springer Berlin Heidelberg; 2085–2120 p. Available from: https://doi.org/10.1007/s13762-023-04946-1

Shah HH, Amin M, Iqbal A, Nadeem I, Kalin M, Soomar AM, et al. A review on gasification and pyrolysis of waste plastics. Front Chem. 2023;10(February):1–38.

Sohn W, Brody SD, Kim JH, Li MH. 2020. How effective are drainage systems in mitigating flood losses? Cities [Internet]; 107(August):102917. Available from: https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102917

Zulkernain NH, Gani P, Chuck Chuan N, Uvarajan T. 2021. Utilisation of plastic waste as aggregate in construction materials: A review. Constr Build Mater [Internet];296:123669. Available from: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123669

.