

Analysis of The Compressive Strength of Precast Concrete U-Ditches Using Recycled PET Bottles As Fine Aggregate [Analisis Kuat Tekan U-Ditch Beton Pracetak Dengan Substitusi Limbah Botol PET Sebagai Agregat Halus]

Fila Atma Jalu Eka Irawan¹⁾, Budwi Harsono ^{*2)}

¹⁾Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: Budwiharsono@umsida.ac.id

Abstract. *This study examined the use of polyethylene terephthalate (PET) waste as a partial replacement for fine aggregate in precast U-ditch concrete. A total of 36 cylindrical specimens (10 cm × 20 cm) were tested at 7, 14, and 28 days of age with PET content varying at 0%, 2%, 4%, and 6% of the fine aggregate mass. At 28 days, the 2% PET mixture yielded the highest compressive strength of 21.01 MPa, a 1.74% increase compared to the control concrete (20.65 MPa). The 4% and 6% PET mixtures yielded compressive strengths of 18.97 MPa and 18.98 MPa, respectively. The results of this study indicate that PET substitution affects the compressive strength of concrete in a nonlinear manner. The physical characteristics of PET, particle distribution, compaction methods, and the interaction between PET particles and the cement paste must be considered for practical application in precast concrete.*

Keywords - Precast U-Ditch; Concrete; PET Bottle Waste; Fine Aggregate; Compressive Strength

Abstrak. *Penelitian ini menguji penggunaan limbah Polyethylene Terephthalate (PET) sebagai pengganti sebagian agregat halus pada beton precast U-Ditch. Sebanyak 36 sampel silinder (10 cm × 20 cm) diuji pada umur 7, 14, dan 28 hari dengan variasi kadar PET 0%, 2%, 4%, dan 6% terhadap massa agregat halus. Pada umur 28 hari, campuran PET 2% menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 21,01 MPa, naik 1,74% dibandingkan beton kontrol (20,65 MPa). Campuran PET 4% dan 6% masing-masing menghasilkan kuat tekan 18,97 MPa dan 18,98 MPa. Hasil penelitian menunjukkan substitusi PET memengaruhi kuat tekan beton secara non-linear. Karakteristik fisik PET, distribusi partikel, metode pemadatan, serta interaksi antara partikel PET dan pasta semen perlu diperhatikan untuk penerapan praktis pada beton precast.*

Kata Kunci – U-Ditch pracetak; Beton; Limbah botol PET; Agregat Halus; Kuat Tekan

I. PENDAHULUAN

Perkembangan kebutuhan konstruksi menyebabkan penggunaan material alam, termasuk agregat halus, terus berlangsung. Pada saat yang sama, limbah plastik menjadi salah satu permasalahan lingkungan karena sebagian besar jenis plastik membutuhkan waktu yang lama untuk mengalami penguraian secara alami. Salah satu jenis plastik yang banyak dijumpai pada limbah rumah tangga adalah Polyethylene Terephthalate atau PET yang umum digunakan sebagai bahan botol air mineral. Pemanfaatan kembali limbah PET sebagai material konstruksi menjadi salah satu pendekatan yang dapat dikaji untuk mengurangi pembuangan limbah plastik sekaligus mengurangi sebagian penggunaan material agregat alam.

Pemanfaatan material limbah sebagai bahan penyusun beton telah banyak dikembangkan. Penggunaan limbah sebagai substitusi agregat tidak hanya berkaitan dengan aspek lingkungan, tetapi juga harus mempertimbangkan karakteristik fisik dan mekanis material pengganti. Perbedaan berat isi, bentuk dan ukuran partikel, tekstur permukaan, serta sifat interaksi material terhadap pasta semen dapat menyebabkan perubahan pada kepadatan dan kekuatan beton.

Ridwansyah dan Harsono melaporkan penggunaan abu pakaian katun bekas sebagai pengganti sebagian agregat halus. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa karakteristik material limbah dan persentase substitusi berpengaruh terhadap kuat tekan beton.[1].

Pada material PET, penelitian telah dilakukan dalam berbagai bentuk pemanfaatan. Abadiyah dan Bin Sahrul mengkaji pemanfaatan PET pada beton pracetak tipe U-Ditch dan menunjukkan adanya pengaruh penggunaan PET terhadap sifat beton, termasuk daya serap air [2]. Amalia, Saputra, dan Pila meneliti limbah PET pada beton self-compacting concrete dan menunjukkan bahwa penggunaan PET pada kadar tertentu dapat memberikan respons mekanis yang berbeda sesuai karakteristik campuran [3].

Penelitian Widayarni dkk. mengenai beton green concrete menggunakan biji plastik PETE juga menunjukkan bahwa penggunaan material plastik sebagai bagian dari campuran beton memberikan perubahan terhadap kuat tekan yang perlu dianalisis berdasarkan persentase penggunaannya [4]. Saputra dan Nasrullah mengkaji limbah plastik

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

sebagai substitusi agregat kasar dan menemukan bahwa penggunaan plastik pada kadar tertentu dapat memengaruhi pencapaian kuat tekan beton [5]. Wahyudi dkk. juga mengkaji beton modifikasi PET dan menunjukkan bahwa penggunaan PET pada kadar tertentu dapat menghasilkan respons kuat tekan yang berbeda dibandingkan beton normal [6].

Penelitian lainnya juga menunjukkan bahwa PET dapat digunakan dalam berbagai bentuk sebagai material alternatif beton. Damayanti dkk. mengkaji penggunaan sampah plastik sebagai pengganti agregat kasar [7]. Nengsih dkk. mengembangkan pemanfaatan PET sebagai material untuk paving block ramah lingkungan [8]. Asrar dkk. meneliti penggunaan limbah PET sebagai pengganti agregat kasar pada beton [9]. Darwis dkk. juga mengkaji limbah botol PET sebagai substitusi agregat kasar pada pembuatan beton [10]. Kurniawan dkk. membahas pengaruh substitusi agregat kasar PET terhadap kuat tekan beton normal pada umur awal [11]. Sementara itu, Jaskowska-Lemanska dkk. mengkaji sifat beton self-compacting concrete yang menggunakan agregat PET daur ulang [12].

Meskipun penelitian mengenai PET dalam beton telah dilakukan, bentuk PET, ukuran partikel, kadar substitusi, jenis beton, dan metode pencampuran dapat menghasilkan respons yang berbeda. Oleh karena itu, penelitian mengenai PET sebagai substitusi sebagian agregat halus pada beton pracetak U-Ditch masih relevan dilakukan. Penelitian ini menggunakan PET yang berasal dari limbah botol air mineral dan diolah menjadi material substitusi agregat halus.

U-Ditch merupakan salah satu elemen beton pracetak yang digunakan sebagai saluran drainase. Penggunaan sistem pracetak memberikan keuntungan dari sisi kecepatan pelaksanaan karena elemen dapat diproduksi terlebih dahulu kemudian dipasang pada lokasi pekerjaan. Namun, kualitas beton pracetak tetap harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam perencanaan. Oleh sebab itu, pengembangan U-Ditch dengan material alternatif harus tetap mempertimbangkan karakteristik mekanis beton yang dihasilkan.

Sundari dan Afiatna melakukan penelitian mengenai U-Ditch pracetak berdasarkan SNI 1725:2016 sebagai standar desain. Penelitian tersebut menekankan pentingnya analisis struktur terhadap U-Ditch dan pemeriksaan kapasitas lentur dengan membandingkan kekuatan rencana terhadap kekuatan yang diperlukan [13]. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa dimensi, pembebanan, dan penulangan U-Ditch perlu disesuaikan dengan kondisi pembebanan yang direncanakan.

SNI 1725:2016 sendiri merupakan standar mengenai pembebanan untuk jembatan dan menetapkan persyaratan minimum mengenai pembebanan, faktor beban, serta kombinasi pembebanan untuk perencanaan jembatan. Direktorat Jenderal Bina Marga mencatat bahwa SNI 1725:2016 berstatus berlaku sebagai standar pembebanan untuk jembatan. Dalam penelitian U-Ditch, penggunaan standar tersebut perlu disesuaikan dengan fungsi dan kondisi penggunaan U-Ditch yang dianalisis. Penelitian Sundari menggunakannya dalam konteks U-Ditch yang berfungsi sebagai elemen yang menerima pembebanan seperti pada struktur jembatan. Sundari et al., (2023)

Pada penelitian ini, U-Ditch digunakan untuk saluran pada kawasan persawahan sehingga fokus utama penelitian diarahkan pada penggunaan beton dengan substitusi PET dan evaluasi kuat tekan beton. Benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan berbentuk silinder, bukan pengujian langsung terhadap kapasitas elemen U-Ditch secara keseluruhan. Dengan demikian, hasil penelitian terutama memberikan informasi mengenai karakteristik beton yang digunakan sebagai dasar material U-Ditch.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh substitusi limbah botol PET sebagai sebagian agregat halus terhadap kuat tekan beton pracetak U-Ditch. Variasi PET yang digunakan adalah 0%, 2%, 4%, dan 6% terhadap berat agregat halus. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Beton normal dengan 0% PET digunakan sebagai beton kontrol.

Tujuan penelitian adalah menganalisis pengaruh variasi substitusi PET terhadap kuat tekan beton, membandingkan perkembangan kuat tekan pada setiap umur pengujian, serta mengidentifikasi variasi PET yang menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi pada umur 28 hari. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan data awal mengenai pemanfaatan limbah PET sebagai material substitusi sebagian agregat halus pada beton pracetak U-Ditch.

II. METODE

U-Ditch merupakan elemen beton pracetak berbentuk saluran terbuka yang digunakan untuk mengalirkan air. Penggunaan beton pracetak memungkinkan proses produksi dilakukan secara terkontrol sehingga dapat menghasilkan elemen dengan dimensi dan mutu yang seragam. Dalam perencanaannya, U-Ditch perlu mempertimbangkan karakteristik material, pembebanan, serta kapasitas struktur sesuai standar yang berlaku [13].

Polyethylene Terephthalate (PET) merupakan jenis plastik yang banyak digunakan sebagai bahan botol minuman. Limbah PET dapat diolah menjadi butiran atau potongan dengan ukuran tertentu dan dimanfaatkan sebagai material

alternatif dalam campuran beton. Penggunaannya sebagai substitusi agregat dapat memengaruhi berat, workability, dan kuat tekan beton [2] - [12].

Variasi campuran yang digunakan adalah beton normal 0% PET, PET 2%, PET 4%, dan PET 6%. Variasi tersebut kemudian diuji pada tiga umur beton, yaitu 7, 14, dan 28 hari. PET yang digunakan berasal dari limbah botol air mineral. Material PET mengalami proses pengolahan sebelum dicampurkan dengan agregat halus. Karakteristik PET diuji melalui beberapa pengujian material, meliputi analisis saringan, berat isi, dan kadar lumpur.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa modulus kehalusan PET sebesar 2,82. Nilai tersebut menunjukkan bahwa material PET yang digunakan masih memiliki distribusi butiran yang relatif kasar. Kondisi tersebut berkaitan dengan proses pengolahan dan penghalusan PET.

Berat isi padat PET diperoleh sebesar 1.302,55 kg/m³, sedangkan berat isi agregat halus murni sebesar 1.804,46 kg/m³. Dengan demikian, PET memiliki berat isi yang lebih rendah daripada pasir. Perbedaan tersebut menjadi salah satu karakteristik penting dalam perencanaan campuran karena penggantian berdasarkan berat akan menghasilkan volume material PET yang lebih besar dibandingkan volume pasir dengan berat yang sama.

Kadar lumpur PET berdasarkan pengujian diperoleh sebesar 3,03%. Nilai tersebut digunakan sebagai salah satu indikator karakteristik kebersihan material. Dalam penelitian ini, nilai tersebut digunakan untuk menggambarkan kondisi material PET sebelum dicampurkan dengan beton

Mutu beton yang digunakan dalam penelitian ditetapkan K-200 dengan nilai f_c' sebesar 16 MPa. Faktor air-semen (FAS) ditetapkan sebesar 0,5 dan dibuat tetap untuk seluruh variasi. Tidak digunakan superplasticizer maupun bahan tambah kimia lainnya.

Tabel 1. Proporsi Campuran Beton per m³

Variasi	Semen (kg)	Air (L)	Agregat Halus (kg)	PET (kg)
Normal 0%	428,64	235,75	864,21	0
PET 2%	428,64	235,75	846,926	17,284
PET 4%	428,64	235,75	829,642	34,568
PET 6%	428,64	235,75	812,357	51,853

Benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Setiap variasi dibuat tiga benda uji untuk setiap umur pengujian. Jumlah benda uji:

$$n = 4 \times 3 \times 3 = 36 \text{ benda uji}$$

Pengujian dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Pemadatan menggunakan batang penusuk. Selain kuat tekan, dilakukan pengujian slump untuk mengetahui konsistensi beton segar.

Tabel 2. Hasil Test Slump

Variasi	Slump (cm)
Normal 0%	8,5
PET 2%	6,2
PET 4%	9,4
PET 6%	11,5

Kuat tekan dihitung berdasarkan beban maksimum dibagi luas penampang benda uji:

$$f_c' = P/A$$

dengan

f_c = kuat tekan beton (MPa)
 P = beban maksimum (N)
 A = luas penampang (mm^2)

Untuk diameter silinder 100 mm:

$$A = \pi D^2/4 = 3,14 \times 100^2/4 = 7.850 \text{ mm}^2$$

Nilai kuat tekan setiap benda uji kemudian dirata-ratakan berdasarkan variasi dan umur pengujian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Karakteristik PET

Hasil pengujian karakteristik PET disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Karakteristik PET

Parameter	Hasil
Modulus kehalusan	2,82
Berat isi padat PET	1.302,55 kg/m^3
Berat isi agregat halus	1.804,46 kg/m^3
Kadar lumpur	3,03%

Perbedaan berat isi antara PET dan agregat halus merupakan salah satu karakteristik utama. Berat isi PET sebesar 1.302,55 kg/m^3 lebih rendah daripada agregat halus sebesar 1.804,46 kg/m^3 . Dengan demikian, untuk massa yang sama, PET akan menempati volume yang lebih besar. Secara matematis, perbedaan berat isi dapat dilihat dari rasio: $1.302,55 / 1.804,46 \times 100\% = 72,19\%$. Artinya, berat isi PET berada sekitar 72,19% dari berat isi agregat halus yang digunakan dalam penelitian. Dengan kata lain, berat isi PET lebih rendah sekitar 27,81%.

Karakteristik tersebut dapat memberikan pengaruh terhadap susunan agregat dalam beton. Pasir mempunyai bentuk dan tekstur yang berbeda dengan PET. Pada campuran yang menggunakan PET, susunan butiran menjadi kombinasi antara agregat mineral dan material plastik.

Nilai modulus kehalusan sebesar 2,82 juga menunjukkan bahwa PET belum mempunyai tingkat kehalusan yang sama dengan material yang sengaja diproses menjadi agregat halus dengan distribusi tertentu. Kondisi tersebut berkaitan dengan proses penghalusan PET. Partikel yang masih relatif kasar dapat memengaruhi rongga antarbutir dan kepadatan campuran.

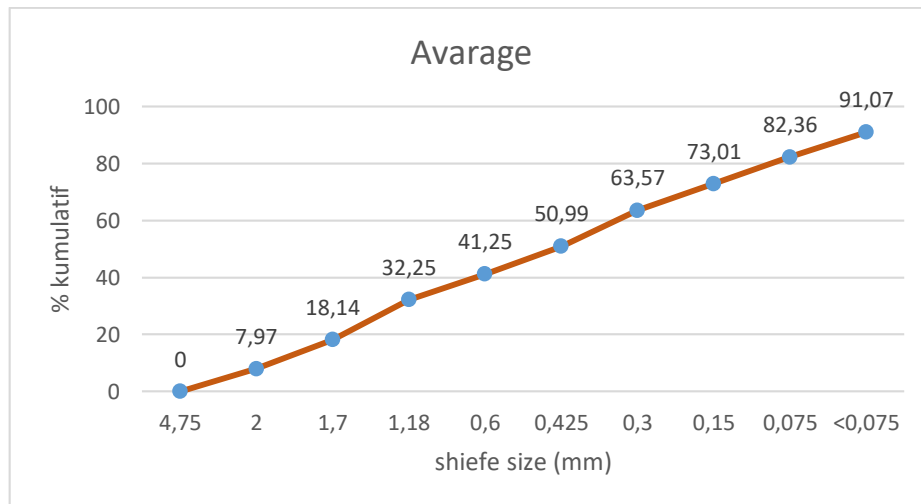
Dari hasil pengamatan penelitian, PET masih memiliki karakteristik butiran yang relatif kasar. Hal ini perlu menjadi perhatian dalam penelitian lanjutan karena ukuran PET yang lebih seragam dapat menghasilkan distribusi material yang lebih terkendali.

B. Analisa Saringan

Analisis saringan dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butir material PET. Hasil pengujian menghasilkan modulus kehalusan sebesar 3.695.

Distribusi ukuran butir berhubungan dengan kemampuan material dalam mengisi rongga. Material dengan distribusi butir yang lebih baik dapat menghasilkan susunan partikel yang lebih rapat. Sebaliknya, material yang mempunyai distribusi ukuran butir yang tidak seragam dapat menghasilkan rongga yang berbeda dalam campuran.

Dalam penelitian ini, PET digunakan sebagai substitusi sebagian agregat halus, sehingga karakteristik gradasinya perlu dipertimbangkan. PET tidak mempunyai sifat fisik yang sama dengan pasir. Oleh karena itu, pengaruhnya terhadap beton tidak hanya ditentukan oleh persentase berat, tetapi juga oleh ukuran dan bentuk partikel.



Gambar 1. Grafik Grading Analisa Saringan PET

Fineness Modulus :

$$FM = \frac{\sum \text{persen kumulatif tertahan saringan No.8 sampai 200}}{100}$$

$$FM = \frac{7,97 + 18,14 + 32,25 + 41,25 + 50,99 + 63,57 + 73,01 + 82,36 + 91,07}{100}$$

$$FM = \frac{369,54}{100} = 3,6954$$

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan PET sebagai substitusi agregat halus masih memungkinkan dilakukan pada kadar yang diteliti. Namun, proses pengolahan PET menjadi partikel yang lebih seragam perlu diperhatikan untuk meningkatkan konsistensi campuran.

C. Berat Isi PET

Berat isi padat PET sebesar 1.302,55 kg/m³ lebih rendah daripada agregat halus sebesar 1.804,46 kg/m³. Perbedaan ini menunjukkan bahwa PET merupakan material yang lebih ringan. Penggunaan material yang lebih ringan sebagai substitusi sebagian agregat halus secara teoritis dapat mengurangi massa agregat pada campuran. Akan tetapi, pengaruh terhadap berat total beton tidak dapat ditentukan hanya berdasarkan berat isi PET karena berat beton juga dipengaruhi oleh jumlah semen, air, agregat kasar, agregat halus, rongga udara, dan tingkat pemadatan.

Dalam pembuatan beton pracetak, kondisi pemadatan menjadi penting karena beton pracetak membutuhkan kepadatan yang relatif baik agar menghasilkan permukaan dan struktur yang seragam. Pada penelitian ini, pemadatan dilakukan menggunakan batang penusuk. Metode tersebut berbeda dengan penggunaan vibrator sehingga homogenitas campuran perlu diperhatikan.

D. Kadar Lumpur PET

Kadar lumpur PET diperoleh sebesar 3,03%. Nilai tersebut digunakan untuk menggambarkan kandungan material halus pada PET yang digunakan. Kandungan material halus dapat memengaruhi interaksi antara material agregat dan pasta semen. Oleh karena itu, material PET perlu dibersihkan dan diproses dengan baik sebelum digunakan dalam campuran beton.

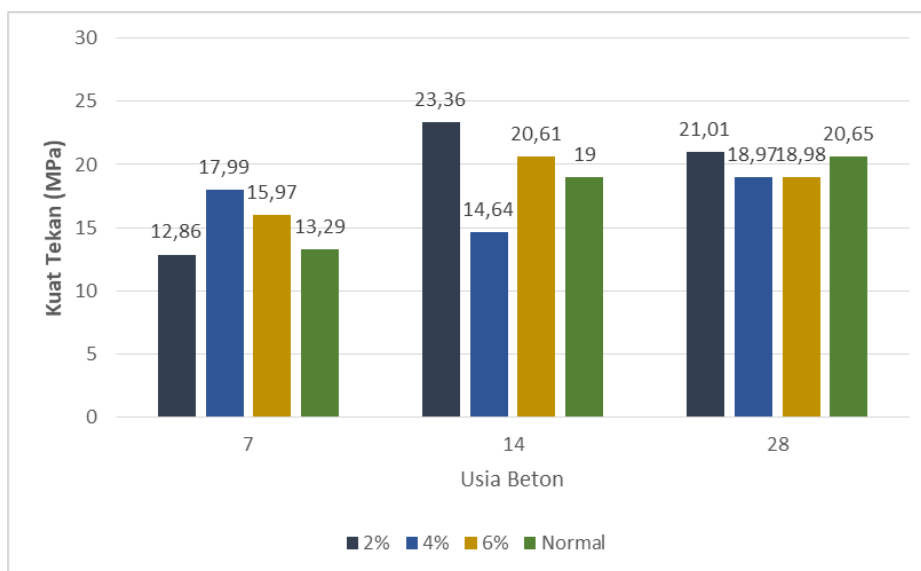
Pada penelitian ini, kadar lumpur tidak menunjukkan bahwa PET tidak dapat digunakan, tetapi menjadi bagian dari karakteristik material yang harus diperhitungkan. Penelitian lanjutan dapat melakukan proses pencucian dan pengeringan PET secara lebih terkontrol sehingga pengaruh material pengotor terhadap beton dapat diminimalkan.

E. Hasil Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan rata-rata seluruh variasi ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 3.Rata-rata Kuat Tekan Beton

Variasi PET	7 hari (MPa)	14 hari (MPa)	28 hari (MPa)
Normal 0%	13,29	19	20,65
PET 2%	12,86	23,36	21,01
PET 4%	17,99	14,64	18,97
PET 6%	15,97	20,61	18,98

**Gambar 2.**Grafik Kuat Tekan Beton

Hasil tersebut memperlihatkan bahwa perkembangan kuat tekan setiap variasi tidak mempunyai pola yang sama. Beton normal menunjukkan peningkatan dari 13,29 MPa pada umur 7 hari menjadi 19,00 MPa pada umur 14 hari dan 20,65 MPa pada umur 28 hari.

Pada PET 2%, kuat tekan meningkat dari 12,86 MPa pada umur 7 hari menjadi 23,36 MPa pada umur 14 hari. Pada umur 28 hari, nilai kuat tekan menjadi 21,01 MPa. Walaupun terjadi penurunan dibandingkan umur 14 hari, nilai 28 hari tetap menjadi nilai tertinggi dibandingkan seluruh variasi pada umur yang sama.

PET 4% menghasilkan kuat tekan sebesar 17,99 MPa pada umur 7 hari. Nilai tersebut kemudian menjadi 14,64 MPa pada umur 14 hari dan meningkat menjadi 18,97 MPa pada umur 28 hari.

PET 6% menghasilkan kuat tekan sebesar 15,97 MPa pada umur 7 hari, meningkat menjadi 20,61 MPa pada umur 14 hari, kemudian menjadi 18,98 MPa pada umur 28 hari.

Fluktuasi nilai kuat tekan pada umur pengujian menunjukkan bahwa perkembangan kekuatan tidak hanya dipengaruhi oleh umur beton. Variasi hasil juga dapat berkaitan dengan homogenitas campuran, proses pemadatan, distribusi partikel PET, serta interaksi PET dengan pasta semen.

F. Hasil Kuat Tekan

Mutu nominal beton yang digunakan dalam penelitian adalah K-200 atau f_c' sebesar 16 MPa. Berdasarkan hasil umur 28 hari, seluruh variasi menghasilkan kuat tekan lebih besar dari 16 MPa.

Beton normal menghasilkan 20,65 MPa. PET 2% menghasilkan 21,01 MPa. PET 4% menghasilkan 18,97 MPa, sedangkan PET 6% menghasilkan 18,98 MPa.

Dengan demikian, berdasarkan perbandingan terhadap nilai nominal f_c' 16 MPa, seluruh variasi pada umur 28 hari berada di atas nilai tersebut. namun, dalam analisis penelitian juga digunakan nilai target 24,8 MPa. Apabila hasil 28 hari dibandingkan dengan target 24,8 MPa tersebut, tidak terdapat variasi yang mencapai target.

Hal ini penting untuk dijelaskan dalam artikel agar tidak terjadi kesalahan interpretasi. Pernyataan bahwa beton memenuhi K-200 tidak sama dengan pernyataan bahwa beton telah mencapai target 24,8 MPa. Kedua nilai tersebut merupakan acuan yang berbeda dalam

Tabel 4.Perbandingan Kuat Tekan

Variasi	28 Hari (MPa)	Terhadap 16 MPa	Terhadap 24,8 MPa
Normal	20,65	Memenuhi	Belum mencapai
PET 2%	21,01	Memenuhi	Belum mencapai
PET 4%	18,97	Memenuhi	Belum mencapai
PET 6%	18,98	Memenuhi	Belum mencapai

G. Keterkaitan Hasil Beton dengan Aplikasi U-Ditch

U-Ditch merupakan elemen saluran yang bekerja menerima berat sendiri, tekanan tanah dari sisi luar, kondisi air, serta beban lain yang mungkin bekerja sesuai kondisi lapangan. Oleh karena itu, kuat tekan beton merupakan salah satu parameter material yang diperlukan dalam evaluasi U-Ditch.

Penelitian Sundari dan Afiatna menunjukkan pentingnya analisis kekuatan U-Ditch dengan membandingkan kekuatan yang diperlukan dan kapasitas elemen berdasarkan kondisi pembebanan. Dalam penelitian tersebut, pemeriksaan kapasitas lentur digunakan sebagai salah satu dasar evaluasi U-Ditch [13]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan standar desain diperlukan agar dimensi dan tulangan dapat ditentukan berdasarkan kondisi pembebanan yang ditinjau.

Dalam penelitian ini, kondisi penggunaan U-Ditch diarahkan pada area persawahan dan tidak ditujukan untuk menerima lalu lintas kendaraan di atasnya. Oleh karena itu, beban yang relevan perlu dibedakan dari kondisi U-Ditch yang berfungsi sebagai jembatan atau gorong-gorong yang menerima lalu lintas.

SNI 1725:2016 secara khusus merupakan standar pembebanan untuk jembatan. Standar tersebut mencakup pembebanan, faktor beban, dan kombinasi pembebanan dalam konteks jembatan. Oleh sebab itu, penggunaannya dalam kajian U-Ditch harus disesuaikan dengan fungsi elemen dan kondisi pembebanan yang sebenarnya.

Untuk U-Ditch pada penelitian ini, pembahasan kuat tekan menjadi dasar material, sedangkan pemeriksaan struktur secara lengkap mencakup pembebanan, momen, geser, kapasitas penampang, penulangan, dan stabilitas. Data tersebut harus dihitung berdasarkan parameter tanah, kondisi air, geometri, dan beban aktual di lokasi. Oleh karena itu, artikel ini tidak memberikan angka kapasitas struktur yang belum diuji atau dihitung secara lengkap.

Berdasarkan perhitungan geometris penelitian, volume beton U-Ditch sebesar 0,04845 m³. Dengan berat jenis beton yang digunakan dalam perhitungan, berat sendiri teoritis U-Ditch sebesar 1,163 kN.

Hasil pengamatan menunjukkan adanya perbedaan kondisi permukaan pada beberapa bagian produk. U-Ditch dengan PET 6% cenderung mempunyai warna yang lebih gelap. Kondisi permukaan tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi PET, tetapi juga proses pencampuran, pemadatan, dan kualitas bekisting.

Pada penelitian ini, pemadatan menggunakan batang penusuk dan bekisting multiplek. Tidak digunakan vibrator maupun plat baja. Oleh karena itu, permukaan beton dapat menunjukkan variasi tingkat kepadatan.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pembuatan beton pracetak dengan material substitusi membutuhkan kontrol produksi yang baik. Penggunaan material alternatif harus diikuti dengan metode produksi yang konsisten agar distribusi material dalam elemen pracetak dapat dipertahankan

IV. KESIMPULAN

Substitusi limbah botol PET sebagai sebagian agregat halus memberikan pengaruh terhadap perkembangan kuat tekan beton pracetak U-Ditch. Pengaruh tersebut tidak menunjukkan hubungan linear terhadap peningkatan persentase PET. Karakteristik material PET yang digunakan dalam penelitian meliputi modulus kehalusan sebesar 2,82, berat isi padat sebesar 1.302,55 kg/m³, berat isi agregat halus sebesar 1.804,46 kg/m³, dan kadar lumpur sebesar 3,03%. Berat isi PET lebih rendah sekitar 27,81% dibandingkan dengan agregat halus yang digunakan.

Hasil pengujian slump menunjukkan nilai sebesar 8,5 cm pada beton normal, 6,2 cm pada substitusi PET 2%, 9,4 cm pada PET 4%, dan 11,5 cm pada PET 6%. Perubahan nilai slump tersebut menunjukkan bahwa peningkatan persentase PET tidak menghasilkan perubahan nilai slump secara linear.

Pada umur 28 hari, beton normal menghasilkan kuat tekan sebesar 20,65 MPa, sedangkan beton dengan substitusi PET 2%, 4%, dan 6% masing-masing menghasilkan kuat tekan sebesar 21,01 MPa, 18,97 MPa, dan 18,98 MPa. Variasi PET 2% menghasilkan kuat tekan tertinggi, yaitu 21,01 MPa, atau meningkat sebesar 0,36 MPa (1,74%) dibandingkan beton normal. Meskipun demikian, hasil tersebut tidak menunjukkan bahwa peningkatan persentase PET selalu menghasilkan peningkatan kuat tekan beton.

Berdasarkan mutu nominal K-200 atau f_c' sebesar 16 MPa, seluruh variasi beton pada umur 28 hari menghasilkan nilai kuat tekan di atas mutu nominal tersebut. Namun, apabila dibandingkan dengan target kuat tekan sebesar 24,8 MPa yang digunakan dalam analisis penelitian, seluruh variasi beton belum mencapai nilai target. Hasil pembuatan U-Ditch menunjukkan bahwa kondisi permukaan produk dipengaruhi oleh komposisi material, proses pemadatan, dan kondisi bekisting. U-Ditch yang dihasilkan memiliki volume teoritis sebesar 0,04845 m³ dengan berat sendiri teoritis sebesar 1,163 kN.

Secara keseluruhan, penggunaan limbah PET sebagai substitusi sebagian agregat halus pada beton pracetak U-Ditch menunjukkan potensi dalam mengurangi penggunaan sebagian agregat alam sekaligus memanfaatkan limbah botol PET. Penerapan lebih lanjut tetap memerlukan pengendalian terhadap ukuran dan gradasi PET, homogenitas campuran, metode pemadatan, serta evaluasi terhadap sifat beton lainnya agar diperoleh kualitas beton pracetak yang lebih konsisten.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, dosen pembimbing, pihak laboratorium, serta seluruh pihak yang telah memberikan bantuan, arahan, dan dukungan selama proses persiapan material, pembuatan benda uji, pengujian, pengolahan data, hingga penyelesaian penelitian ini.

REFERENSI

- [1] M. N. Ridwansyah and B. Harsono, "Substitusi Limbah Abu Pakaian Katun Bekas Sebagai Pengganti Agregat Halus Untuk Mendapatkan Mutu Beton Yang Baik," pp. 1–7.
- [2] S. Abadiyah and S. Bin Sahrul, "Pemanfaatan Bahan PET Terhadap Daya Serap Air Pada Beton Pracetak Tipe U-Ditch," *KoNTekS*, pp. 24–26, 2024.
- [3] J. Saputra and R. K. Pila, "Kinerja Beton Self Compacting Concrete Dengan Bahan Tambah Limbah Polyethylene Terephthalae," *POLITEKNOLOGI*, vol. 21, no. 1, 2022.
- [4] G. Widyarini, E. Herdiarti, N. Azizah, and G. W. Mukti, "Analisis Kuat Tekan Green Concrete Fc 20 Mpa Menggunakan Biji Plastik Pete (Polyethylene Terephthalate)," *bangun Rekaprima*, vol. 10, pp. 24–30, 2024.
- [5] M. I. Saputra and A. Nasrullah, "Analisa Pengaruh Substitusi Limbah Plastik Sebagai Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton," *J. Ilm. Bering's*, vol. 06, no. 02, pp. 37–40, 2019.
- [6] Y. Wahyudi, A. M. Indriani, and G. Utomo, "Analisis Kuat Tekan Beton Modifikasi Polythylene Terephthalate (PET)," *Konf. Nas. Tek. Sipil*, pp. 16–17, 2023.
- [7] R. D. A. Sudirman, and M. Amin, "Kuat Tekan Beton Menggunakan Sampah Plastik sebagai Pengganti Agregat Kasar," *J. Ilm. Ecosyst.*, vol. 24, no. April, pp. 140–148, 2024.
- [8] R. W. Nengsih, H. A. Savariski, and I. Ristanto, "Paving Block Ramah Lingkungan Dari Limbah Plastik Polyethylene Terephthalate (PET)," *J. Gradasi Tek. Sipil*, vol. 9, no. 2, pp. 129–141, 2025.
- [9] Asrar, E. Bachtiar, S. Gusty, and F. Rachim, "Pemanfaatan Daur Ulang Limbah Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton," *J. Kacapuri*, vol. 1, no. 1, pp. 156–164, 2020.
- [10] Z. Darwis, Soelarso, and A. Faisal, "Pemanfaatan Limbah botol Plastik Poly Ethylene Terephthalate (PET) Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pembuatan Beton," pp. 123–131.
- [11] P. Kurniawan, I. A. Purnama, D. Pangestu, L. Nugroho, and S. W. Ravika, "Pengaruh Substitusi Agregat Kasar PET terhadap Kuat Tekan Beton Normal 7 Hari," *J. Res. Invovation Civ. Engineering As Appl. Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 29–36, 2026.
- [12] J. J. Lemanska, M. Kucharska, and J. Matuszak, "Selected Properties of Self-Compacting Concrete with Recycled," *Materials (Basel)*, pp. 1–20, 2022.
- [13] T. Sundari, F. Ayu, and N. Farida, "U-Ditch Pracetak Berdasarkan SNI 1725:2016 Sebagai Standar Desain," *Rekayasa Sipil*, vol. 17, no. 1, pp. 23–30, 2023.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.