

SUBSTITUSI LIMBAH ABU PAKAIAN KATUN BEKAS SEBAGAI PENGANTI AGREGAT HALUS UNTUK MENDAPATKAN MUTU BETON YANG BAIK

[SUBSTITUTION OF USED COTTON CLOTHING ASH WASTE AS A SUBSTITUTE FOR FINE AGGREGATE TO OBTAIN GOOD CONCRETE QUALITY]

Muhamad Naufal Ridwansyah¹⁾, 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.

The increasing amount of used clothing waste has encouraged the use of ash from combustion as an alternative material for concrete. This study analyzed the effect of cotton clothing ash as a substitute for fine aggregate with variations of 25%, 50%, 75%, and 100%, as well as compressive strength tests at the age of 7–28 days. Tests included the physical characteristics of the material and analysis compared to concrete quality standards. The results showed that the ash was fine-grained and affected cement hydration, workability, and concrete specific gravity. High substitution decreased the compressive strength, but low levels still met the requirements for non-structural concrete. Used clothing ash has the potential to be used as an environmentally friendly alternative with certain substitution limits to reduce textile waste.

Keywords – Ashes of used clothes; Fine Aggregate; Concrete; Compressive Strength; Textile Waste.

Abstrak.

Pertumbuhan konsumsi tekstil meningkatkan volume limbah pakaian bekas yang sulit dikelola. Salah satu alternatif penanganannya adalah pembakaran yang menghasilkan abu berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan campuran beton. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh abu pakaian katun bekas sebagai pengganti agregat halus. Metode meliputi pengujian karakteristik fisik agregat dan abu, pembuatan beton dengan variasi substitusi 25%, 50%, 75%, dan 100%, serta uji kuat tekan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Data dianalisis secara empiris dan dibandingkan dengan standar mutu beton. Hasil menunjukkan abu memiliki butiran halus dan kandungan mineral yang memengaruhi hidrasi semen, workability, dan berat jenis beton segar. Kuat tekan menurun pada substitusi tinggi, namun pada kadar rendah masih memenuhi syarat beton non-struktural. Secara umum, abu pakaian bekas berpotensi dimanfaatkan sebagai alternatif ramah lingkungan dengan batas substitusi tertentu guna mengurangi limbah tekstil.

Kata Kunci – abu pakaian bekas; agregat halus, beton, kuat tekan, limbah tekstil

I. Pendahuluan

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pembangunan infrastruktur karena memiliki kekuatan tekan tinggi, daya tahan yang baik, serta kemudahan dalam pelaksanaan. Komponen utama beton terdiri atas semen, agregat halus, agregat kasar, dan air. Di antara komponen tersebut, agregat menempati porsi terbesar dalam campuran, sehingga sangat berpengaruh terhadap mutu beton yang dihasilkan [2]. Agregat halus, umumnya berupa pasir alam, berfungsi mengisi rongga antar agregat kasar dan mempengaruhi workability serta kekuatan beton.

Meningkatnya kebutuhan pembangunan menyebabkan permintaan pasir alam terus bertambah. Eksploitasi pasir secara berlebihan berdampak pada kerusakan lingkungan, terutama di daerah aliran sungai, serta meningkatkan biaya material konstruksi. Kondisi ini mendorong pencarian material alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan tanpa menurunkan mutu beton.

Di sisi lain, limbah tekstil khususnya pakaian berbahan katun semakin meningkat seiring pertumbuhan konsumsi sandang. Pakaian katun bekas umumnya dimusnahkan melalui pembakaran yang menghasilkan residu berupa abu. Abu tersebut memiliki partikel sangat halus dan mengandung unsur mineral tertentu yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan pengganti agregat halus dalam beton. Dalam teknologi beton, material berukuran halus dapat berperan sebagai filler yang mempengaruhi kepadatan dan sifat mekanis beton [2].

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa limbah berbasis abu dapat digunakan sebagai substitusi agregat halus dengan pengaruh tertentu terhadap kuat tekan beton maupun paving block [5][6][7][8]. Namun, penelitian mengenai pemanfaatan abu pakaian katun sebagai agregat halus masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik abu pakaian katun bekas dan mengevaluasi pengaruh variasi substitusi terhadap kuat tekan dan mutu beton sesuai klasifikasi yang dijelaskan oleh Dipohusodo [4].

I. Metode

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sidoarjo dengan pendekatan eksperimental untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan abu pakaian katun bekas sebagai pengganti agregat halus terhadap mutu beton. Tahapan penelitian meliputi pengujian karakteristik material, perencanaan campuran beton, pembuatan dan perawatan benda uji, serta pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Perencanaan dan evaluasi mutu beton dalam penelitian ini mengacu pada prinsip teknologi beton sebagaimana dijelaskan oleh Mulyono [2].

Tahap awal penelitian dilakukan dengan menguji kelayakan abu pakaian katun sebagai agregat halus. Pengujian analisa saringan dilakukan untuk menentukan gradasi dan nilai fineness modulus material berdasarkan ASTM C136-04, yang digunakan untuk mengevaluasi distribusi ukuran butiran agregat. Pengujian kadar lumpur mengacu pada SNI 03-1974-1990 guna memastikan kandungan partikel halus tidak melebihi batas maksimum 5% agar tidak mengganggu ikatan pasta semen. Selain itu, dilakukan pengujian berat volume agregat berdasarkan ASTM C29 untuk mengetahui berat isi material dalam kondisi lepas dan padat sebagai indikator tingkat kepadatan agregat dalam campuran beton. Parameter-parameter tersebut merupakan bagian penting dalam evaluasi bahan penyusun beton sebagaimana dijelaskan dalam literatur bahan bangunan [1].

Perencanaan campuran beton (mix design) dilakukan berdasarkan SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal [9]. Variasi substitusi abu pakaian katun terhadap agregat halus ditetapkan sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100%. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 10,5 cm dan tinggi 21 cm. Dimensi dan prosedur pengujian ini mengacu pada standar pengujian kuat tekan beton silinder sesuai SNI 1974-2011 [3]. Setiap variasi dibuat tiga benda uji pada masing-masing umur pengujian untuk memperoleh hasil yang representatif.

Proses pembuatan beton dilakukan dengan mencampurkan semen Portland, agregat kasar, agregat halus atau abu pakaian sesuai variasi, serta air berdasarkan hasil perhitungan mix design. Penetapan faktor air-semen mempertimbangkan ketentuan dalam SNI 2847:2019 mengenai batas maksimum faktor air-semen guna menjaga durabilitas dan kekuatan beton. Setelah pencampuran homogen, adukan dimasukkan ke dalam cetakan silinder dan dipadatkan. Benda uji dilepas dari cetakan setelah 24 jam dan dirawat dengan metode perendaman (curing) hingga mencapai umur pengujian yang ditentukan, yaitu 7, 14, 21, dan 28 hari.

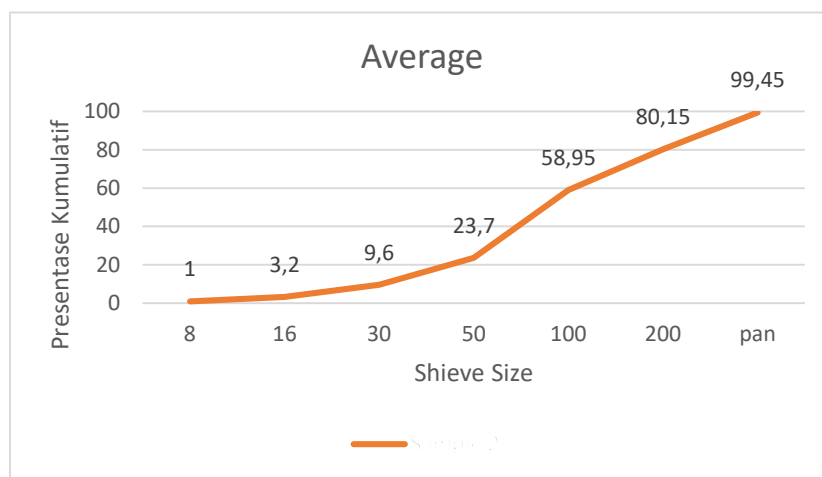
Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan mesin uji tekan sesuai prosedur SNI 1974-2011 untuk memperoleh nilai kuat tekan maksimum (f'_c) pada masing-masing umur beton [3]. Selain itu, dilakukan pengujian kuat tarik belah untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan tegangan tarik tidak langsung, yang dihitung berdasarkan persamaan standar pengujian tarik belah beton silinder. Hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi kadar substitusi abu pakaian katun terhadap perkembangan kuat tekan dan mutu beton, dengan mengacu pada klasifikasi mutu beton sebagaimana dijelaskan oleh Dipohusodo [4].

II. Hasil dan Pembahasan

Seperti pada tahap yang ditentukan yakni pengujian material pada abu pakaian sebagai bahan yang diuji kelayakannya untuk menjadi pengganti agregat halus pada campuran beton. Pada bagian ini dilakukan beberapa pengujian yaitu uji analisa saringan, Kadar lumpur dan volume berat jenis. Adapun hasil dari pengujian tersebut sebagai berikut :

A. Analisa Saringan

Pada pengujian ini, dibuatkan masing-masing dua sampel dari setiap variasi. Data dari setiap sampel dihitung dan diperoleh nilai persentase dari pengujian tersebut. Dari nilai yang didapatkan, berikut grafik persentase nilai uji dari setiap sampel



Gambar 1. Grafik rata rata analisa saringan

Fineness Modulus :

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

$$FM = \frac{1 + 3.2 + 9.6 + 23.7 + 58.95 + 80.1}{100}$$

$$FM = \frac{176.6}{100} = 1.766$$

Dan dari kedua data dapat dicari nilai rata-rata persentase tertahan dan persentase lewat kumulatif. Dan dari persentase kumulatif tersebut didapatkan besar Fineness Modulus sebesar 1.766. Berdasarkan tetapan fineness modulus untuk agregat halus yang ditetapkan oleh ASTM (ASTM C-33), besaran fineness modulus harus berada dalam range $2,30 \leq FM \leq 3,10$. Sedangkan berdasarkan standar SNI S – 04 – 1989 – F range besaran fineness modulus yang diperbolehkan adalah $1,50 \leq FM \leq 3,80$. Dari standar tersebut dapat dikatakan bahwa agregat halus yang diuji tidak lulus berdasarkan standar ASTM tetapi lulus uji jika dibandingkan dengan SNI (1.766).

B. Kadar Lumpur

Hasil uji Kadar Lumpur didapatkan dari menghitung setelah dilakukan pengujian dengan mesin tersebut. Sampel pada pengujian ini sebanyak tiga sampel pada masing-masing variasi agregat :

Volume Lumpur (V1)	10 mm
Volume Pasir (V2)	310 mm
Volume Lumpur + Pasir (V1+V2)	30 +290 = 320 mm

Tabel 1. Data 1

Volume Lumpur (V1)	8 mm
Volume Pasir (V2)	302 mm
Volume Lumpur + Pasir (V1+V2)	8 + 302 = 310 mm

Tabel2. Data 2

Rata-rata

$$\text{Volume Lumpur} = \frac{10+8}{2} = 9 \text{ mm}$$

$$\text{Volume Pasir} = \frac{290+310}{2} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Perhitungan Kadar Lumpur} = \frac{9}{300} \times 100 \% = 3 \%$$

Dari hasil percobaan yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan bahwa persentase kadar lumpur yang diperoleh dari percobaan kali ini adalah 3%. Hasil ini memenuhi ketentuan kadar lumpur dalam agregat halus yang disyaratkan dalam campuran beton harus lebih kecil dari 5%.

C. Berat Volume Agregat

Dari hasil pengujian berat volume agregat dengan cara lepas dan meniskus pada masing-masing sampel, dibuatkan grafik yang menyajikan hasil pengujian berat volume isi agregat kasar dalam dua kondisi, yaitu berat isi lepas dan berat isi dalam kondisi padat. Data yang ditampilkan merupakan hasil dari beberapa sampel pengujian. Grafik ini bertujuan untuk membandingkan variasi berat isi agregat kasar antara kondisi lepas dan padat guna memahami kepadatan dan tingkat kekompakan material dalam campuran beton.

Berikut tabel hasil uji berat volume kondisi lepas:

No	Berat Wadah + Abu (kg)	Berat Abu (kg)	Volume (m ³)	Berat Volume (kg/L)
1	13,751	2,860	0,00530	0,54
2	13,701	2,810	0,00530	0,53
3	13,726	2,835	0,00530	0,535
Rata-rata				0,535

Tabel 3. Berat volume kondisi lepas

Berdasarkan nilai-nilai berat volume dalam kondisi lepas di atas, didapatkan nilai rata-rata dari masing-masing sampel, rata rata hasilnya yaitu 0,535 kg/liter. Pada SNI-03—2461-2002, berat volume agregat halus dalam kondisi lepas yakni berkisar antara 1,2 – 1,8 kg/liter. abu pakaian katun memiliki berat volume yang jauh lebih ringan dan berpori.

Berikut tabel hasil uji berat volume kondisi padat:

No	Berat Wadah + Abu (kg)	Berat Abu (kg)	Volume (m ³)	Berat Volume (kg/L)
1	14,151	3,260	0,00530	0,615
2	14,101	3,210	0,00530	0,605
3	14,126	3,235	0,00530	0,610
Rata-rata				0,610

Tabel 4. Berat volume kondisi padat

Berdasarkan nilai-nilai berat volume dalam kondisi padat di atas, didapatkan nilai rata-rata dari masing-masing sampel, rata rata hasilnya yaitu 0,610 kg/liter. Berdasarkan SNI-03-2461- 2002, berat volume agregat kasar dalam kondisi padat yakni berkisar antara 1,4 – 2,0 kg/liter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat volume kondisi padat lebih besar dibandingkan kondisi lepas. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya rongga udara antar partikel abu pakaian katun akibat proses pemadatan

D. Interpretasi Umum dan Keterkaitan dengan Penelitian Sebelumnya

Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa abu pakaian katun bekas memiliki karakteristik fisik yang sangat halus dengan nilai fineness modulus sebesar 1,766. Gradasi yang sangat halus ini menyebabkan material lebih berperan sebagai filler dibandingkan agregat halus struktural. Meskipun kadar lumpur sebesar 3% masih memenuhi batas maksimum SNI 03-1974-1990, berat volume yang relatif rendah menunjukkan bahwa abu memiliki massa jenis lebih ringan dibandingkan pasir alami. Kombinasi karakteristik tersebut memberikan pengaruh langsung terhadap kinerja mekanis beton, khususnya kuat tekan dan kuat tarik belah.

Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan adanya kecenderungan penurunan kekuatan seiring meningkatnya persentase substitusi abu pakaian katun. Pada kadar substitusi rendah, beton masih menunjukkan perkembangan kekuatan yang cukup baik hingga umur 28 hari, meskipun belum sepenuhnya mencapai mutu rencana tinggi. Namun pada kadar substitusi yang lebih besar, penurunan kuat tekan menjadi semakin signifikan. Secara mekanis, kondisi ini dapat dijelaskan oleh meningkatnya kebutuhan air akibat luas permukaan partikel yang tinggi serta kemungkinan bertambahnya porositas beton. Dalam teori teknologi beton, peningkatan rasio air-semen dan porositas akan menurunkan kekuatan beton karena terbentuknya rongga kapiler yang lebih besar dalam struktur mikro beton [2]. Selain itu, karena abu pakaian katun bukan merupakan material pozzolan aktif seperti fly ash, kontribusinya terhadap pembentukan tambahan senyawa C-S-H relatif terbatas sehingga tidak mampu mengimbangi penurunan kekuatan akibat peningkatan porositas.

Kuat tarik belah beton juga menunjukkan pola yang sejalan dengan kuat tekan, di mana penurunan kuat tekan diikuti oleh penurunan kuat tarik. Hal ini sesuai dengan hubungan empiris antara kuat tekan dan kuat tarik beton sebagaimana dijelaskan dalam literatur struktur beton bertulang, bahwa beton dengan kuat tekan lebih rendah umumnya memiliki kapasitas tarik yang lebih kecil [4]. Dengan demikian, peningkatan kadar substitusi abu pakaian katun secara langsung mempengaruhi kemampuan beton dalam menahan tegangan tarik tidak langsung.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, hasil penelitian ini menunjukkan kecenderungan yang konsisten. Penelitian oleh Viedra (2019) mengenai penggunaan abu batu dan abu dasar sebagai substitusi agregat halus pada paving block menunjukkan bahwa peningkatan kadar abu setelah batas optimum menyebabkan penurunan kuat tekan yang signifikan [5]. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Syarah dkk. (2022), di mana substitusi abu batu pada kadar tertentu masih dapat mempertahankan kekuatan, tetapi mengalami penurunan pada kadar tinggi [6]. Prayogo (2017) juga menyimpulkan bahwa penggunaan abu sebagai pengganti agregat halus memiliki batas optimal sebelum terjadi degradasi mutu beton [7]. Kesamaan pola ini menunjukkan bahwa limbah berbasis abu umumnya memiliki keterbatasan dalam hal kepadatan dan ikatan partikel, terutama apabila digunakan dalam jumlah besar.

Dengan demikian, dapat diinterpretasikan bahwa abu pakaian katun bekas memiliki potensi sebagai material alternatif ramah lingkungan, namun penggunaannya perlu dibatasi pada kadar tertentu agar tidak menurunkan mutu beton secara signifikan. Secara praktis, material ini lebih sesuai digunakan untuk beton non-struktural atau elemen dengan tuntutan kekuatan rendah hingga sedang. Untuk aplikasi struktural dengan mutu tinggi, diperlukan penelitian lanjutan seperti penambahan bahan kimia (superplasticizer), optimasi faktor air-semen, atau kombinasi dengan material pozzolanik aktif guna meningkatkan performa mekanisnya.

III. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa abu pakaian katun bekas memiliki karakteristik fisik yang sangat halus dengan nilai fineness modulus sebesar 1,766, kadar lumpur sebesar 3%, serta berat volume yang relatif rendah dibandingkan agregat halus alami. Secara teknis, material ini memenuhi persyaratan kadar lumpur menurut SNI 03-1974-1990, namun memiliki gradasi yang lebih halus dari standar ASTM C-33 sehingga lebih berperan sebagai filler dalam campuran beton. Hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah menunjukkan bahwa peningkatan persentase substitusi abu pakaian katun terhadap agregat halus cenderung menurunkan nilai kekuatan beton pada setiap umur pengujian. Pada kadar substitusi rendah, beton masih menunjukkan perkembangan kekuatan yang cukup baik dan berpotensi digunakan untuk beton non-struktural, sedangkan pada kadar substitusi tinggi terjadi penurunan kekuatan yang signifikan sehingga belum memenuhi mutu rencana beton struktural. Secara umum, abu pakaian katun bekas memiliki potensi sebagai material alternatif ramah lingkungan untuk campuran beton dengan batas substitusi tertentu, namun penggunaannya memerlukan pengendalian komposisi campuran agar tidak meningkatkan porositas dan rasio air-semen yang dapat menurunkan mutu beton.

IV. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah memberikan fasilitas laboratorium dan dukungan akademik selama proses penelitian berlangsung. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan secara intensif sejak tahap perencanaan hingga penyusunan artikel ini. Tidak lupa, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses pengujian di laboratorium, pengumpulan data, serta penyusunan laporan penelitian. Dukungan dan kontribusi yang diberikan sangat berarti dalam penyelesaian penelitian ini.

V. Referensi

- [1] B. Harsono dkk, *Bahan Bangunan*. Padang, Indonesia: CV. HEI PUBLISHING INDONESIA, 2025.
- [2] T. Mulyono, *Teknologi Beton*. Yogyakarta, Indonesia: CV. ANDI OFFSET, 2005.
- [3] SNI 1974-2011, "Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder," *Standar Nas. Indones.*, p. 20, 2011.
- [4] I. Dipohusodo, *Struktur Beton Betulang*. Jakarta, Indonesia, 1994.
- [5] VIEDRA, GHEA GARDITA ZORAYA "Pemanfaatan kombinasi limbah abu batu dan abu dasar sebagai substitusi agregat halus pada paving block,". Universitas Mercu Buana Jakarta, Jakarta, Indonesia, 2019.
- [6] Syarah, May, Afrizal Naumar, dan Eko Prayitno. "Pengaruh abu batu sebagai substitusi agregat halus untuk pembuatan paving block". *Abstract of Undergraduate Research, Faculty of Civil and Planning Engineering, Universitas Bung Hatta*, Vol. 1 No. 1 (2022).
- [7] Prayogo, H. D., "Analisa kuat tekan paving blok dengan abu batu sebagai bahan tambah" (Skripsi, Universitas Muhammadiyah Purwokerto), Purwokerto, Indonesia 2017.
- [8] Nugroho, I. D., & Sudjatmiko, A. "Pemanfaatan abu batu dalam pembuatan paving block dengan metode tekanan" (Skripsi sarjana). Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Indonesia 2020.
- [9] SNI-03-2834-2000, "Tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal," *Standar Nas. Indones.*, vol. 3, p. 2834, 2000.
- [10] American Society for Testing and Materials. "Standards Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregate", No. ASTM C 136 – 04. *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, "Metode Pengujian Kadar Lumpur pada Agregat Halus," SNI 03-1974-1990, Jakarta, Indonesia, 2010.
- [12] ASTM C496, "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens," *ASTM Stand. B.*, pp. 545-545–3, 2008, doi: 10.1520/C049

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.