

Analisis Pengujian Bahan Abu Limbah Kulit Jeruk Sebagai Substitusi Semen Pada Campuran Beton

[Analysis of Waste Orange Peel Ash as Cement Substitution in Concrete Mix]

Ahmad Bagas Ari Prayogo ^{*1)}, 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.

Cement production significantly contributes to high carbon emissions and energy consumption, creating an urgent need for sustainable alternatives. This research analyzes the utilization of waste orange peel ash as a partial substitution for cement in concrete mixtures. The ash was produced through the calcination process of orange peel waste and sieved to meet fineness standards. Tests conducted include fineness, specific gravity, setting time, compressive strength, and splitting tensile strength, with substitution levels of 0%, 5%, 10%, 15%, and 25%. The results indicate that orange peel ash exhibits pozzolanic-like physical characteristics and can function as a cement substitute at certain proportions. Lower substitution levels (2.5–10%) still provided acceptable compressive strength for structural concrete, while higher levels ($\geq 15\%$) significantly reduced performance. Therefore, waste orange peel ash shows potential as an eco-friendly alternative material, supporting circular economy principles and reducing the environmental impact of the construction industry.

Keywords – Concrete, Waste Orange Peel Ash, Cement Substitution, Pozzolan, Concrete Performance

Abstrak.

Produksi semen dalam jumlah besar berkontribusi terhadap emisi karbon tinggi dan konsumsi energi yang besar, sehingga mendorong perlunya material alternatif ramah lingkungan. Penelitian ini menganalisis pemanfaatan abu limbah kulit jeruk sebagai bahan substitusi sebagian semen dalam campuran beton. Abu diperoleh melalui proses pembakaran limbah kulit jeruk dan diayak untuk memenuhi standar kehalusan. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kehalusan, berat jenis, dan waktu ikat, serta uji kuat tekan dan kuat tarik belah beton pada variasi subsitusi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 25%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa abu kulit jeruk memiliki karakteristik fisik menyerupai bahan pozzolan dan dapat berperan sebagai substitusi semen pada proporsi tertentu. Variasi rendah (2,5–10%) mampu menghasilkan kuat tekan yang masih layak untuk beton struktural, sedangkan variasi tinggi ($\geq 15\%$) menyebabkan penurunan signifikan. Dengan demikian, abu limbah kulit jeruk berpotensi dimanfaatkan sebagai material alternatif ramah lingkungan, mendukung konsep ekonomi sirkular sekaligus mengurangi dampak lingkungan industri konstruksi.

Kata Kunci – Beton, Abu Limbah Kulit Jeruk, Substitusi Semen, Pozzolan, Kinerja Beton

I. Pendahuluan

Konstruksi beton merupakan bagian vital dalam pembangunan infrastruktur modern. Beton adalah material bangunan yang umum digunakan dalam konstruksi, terdiri dari semen, agregat, dan air. Penambahan bahan kimia, pozolan, atau serat menghasilkan beton khusus dengan karakteristik melebihi beton normal [1]. Komposisi utama beton meliputi semen sebagai bahan pengikat, agregat halus, agregat kasar, dan air, yang dalam jumlah tertentu dapat ditambahkan bahan tambahan mineral maupun kimia untuk meningkatkan sifat beton [2]. Di antara bahan penyusunnya, semen Portland memegang peranan penting karena berfungsi sebagai pengikat utama. Namun, produksi semen secara masif menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan, antara lain emisi karbon dioksida dalam jumlah besar dan konsumsi energi tinggi [3]. Menurut International Energy Agency (2023), industri semen menyumbang sekitar 7% dari total emisi CO₂ global, sehingga diperlukan alternatif material yang dapat mengurangi ketergantungan pada semen tanpa mengorbankan kualitas beton.

Sejalan dengan isu keberlanjutan, pemanfaatan limbah organik sebagai material alternatif menjadi salah satu solusi potensial. Salah satu jenis limbah organik yang melimpah adalah kulit jeruk, yang banyak dihasilkan dari industri minuman, pasar tradisional, maupun rumah tangga. Limbah kulit jeruk yang tidak dikelola dengan baik berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan berupa bau, gangguan estetika, dan penurunan kualitas tanah maupun air [4]. Melalui proses pembakaran (kalsinasi), kulit jeruk dapat diubah menjadi abu yang mengandung senyawa silika (SiO₂) dan alumina (Al₂O₃) yang bersifat pozzolanik [5]. Sifat pozzolanik ini memungkinkan abu limbah kulit jeruk bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)₂) hasil hidrasi semen untuk membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang berkontribusi pada peningkatan kekuatan beton [6].

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa bahan pozzolan alami maupun limbah pertanian, seperti abu sekam padi dan abu daun bambu, dapat digunakan sebagai substitusi sebagian semen dalam campuran beton dengan hasil yang bervariasi [7]. Namun, kajian mengenai pemanfaatan abu kulit jeruk masih terbatas, khususnya pada aspek karakteristik fisik material yang menentukan kelayakan penggunaannya. Parameter penting seperti kehalusan partikel, berat jenis, dan waktu ikat perlu dianalisis terlebih dahulu untuk memastikan bahwa abu kulit jeruk memenuhi standar teknis sebagai bahan pengganti sebagian semen [8].

II. Metode

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan eksperimental laboratorium untuk menganalisis kelayakan abu limbah kulit jeruk sebagai bahan substitusi semen. Penelitian dilaksanakan secara sistematis mulai dari persiapan material hingga analisis hasil uji laboratorium.

Tahap pertama adalah pengumpulan dan pengolahan material, di mana limbah kulit jeruk diperoleh dari hasil perasan jeruk manis (*Citrus sinensis*). Limbah kemudian dibersihkan, dijemur selama ±2 hari, dan dikalsinasi pada suhu tinggi hingga berubah menjadi abu berwarna keabu-abuan. Abu yang dihasilkan selanjutnya diayak menggunakan saringan No. 200 (75 μm) untuk memastikan distribusi butir halus sesuai standar kehalusan semen. Proses ini bertujuan agar material substitusi memiliki karakteristik fisik yang mendekati semen Portland.

Tahap kedua adalah pengujian karakteristik fisik abu kulit jeruk melalui tiga parameter utama. Pertama, uji kehalusan, yang menentukan seberapa besar fraksi partikel halus yang lolos ayakan standar dan berpengaruh terhadap reaktivitas pozzolanik abu. Kedua, uji berat jenis, yang dilakukan menggunakan metode labu ukur untuk mengetahui massa jenis relatif abu terhadap semen, sehingga dapat dipertimbangkan dalam perhitungan mix design beton. Ketiga, uji waktu ikat, yang bertujuan mengukur pengaruh abu terhadap proses hidrasi semen, baik ikat awal maupun ikat akhir. Seluruh pengujian mengacu pada standar SNI dan ASTM agar hasil yang diperoleh memiliki validitas teknis.

Tahap ketiga adalah analisis data, yang dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan hasil uji terhadap standar teknis semen Portland tipe I. Evaluasi dilakukan untuk menilai kelayakan abu kulit jeruk sebagai material substitusi, terutama dalam hal konsistensi ukuran partikel, kestabilan massa jenis, dan dampak terhadap proses pengerasan awal. Lalu penarikan kesimpulan, merangkum hasil pengujian untuk menentukan sejauh mana abu limbah kulit jeruk memenuhi syarat teknis sebagai bahan substitusi sebagian semen. Kesimpulan ini juga menjadi dasar pemilihan persentase substitusi yang dianggap paling sesuai untuk aplikasi pada campuran beton ramah lingkungan.

III. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menghasilkan temuan penting mengenai karakteristik fisik abu limbah kulit jeruk yang digunakan sebagai bahan substitusi sebagian semen pada campuran beton. Tiga parameter utama diuji, yaitu kehalusan, berat jenis, dan waktu ikat, yang masing-masing memberikan gambaran mengenai reaktivitas pozzolanik, kerapatan material, serta pengaruhnya terhadap proses hidrasi semen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa abu kulit jeruk memiliki tingkat kehalusan yang mendekati standar semen, berat jenis yang masih berada dalam rentang pozzolan, serta waktu ikat yang relatif lebih lambat namun tetap memenuhi batas standar SNI dan ASTM. Analisis ini menegaskan bahwa abu kulit jeruk berpotensi dimanfaatkan sebagai material alternatif ramah lingkungan, meskipun penggunaannya perlu dibatasi pada proporsi tertentu untuk menjaga kinerja beton tetap optimal.

A. Uji Kehalusan/ *Fineness Test*

Pengujian kehalusan dilakukan untuk mengetahui persentase butiran abu kulit jeruk yang lolos ayakan No.200 (75 μm). Parameter ini penting karena semakin halus ukuran butir maka semakin besar luas permukaan yang dapat bereaksi dalam proses hidrasi semen, sehingga memengaruhi aktivitas pozzolanik dan distribusi material dalam campuran beton.

Tabel 1. Hasil Uji Kehalusan

Parameter	Hasil Uji	SNI
Persentase lolos ayakan	81%	75%
Persentase tidak lolos ayakan	19%	-

Berdasarkan SNI 03-6867-2002, uji kehalusan semen dilakukan menggunakan ayakan No. 200 (75 μm). Hasil pengujian menunjukkan bahwa abu kulit jeruk memiliki kehalusan sebesar 81% lolos ayakan, nilai ini melampaui batas minimum standar kehalusan semen Portland. Dengan demikian, abu limbah kulit jeruk dapat dikategorikan sangat halus dan berpotensi aktif secara pozzolanik, sehingga layak dipertimbangkan sebagai material substitusi sebagian semen dalam campuran beton.

B. Uji Berat Jenis/ *Specific Gravity Test*

Pengujian berat jenis bertujuan untuk mengetahui massa jenis abu kulit jeruk sebagai bahan substitusi sebagian semen. Parameter ini berfungsi penting dalam menentukan proporsi campuran beton secara volume dan kebutuhan material per satuan berat. Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan dengan prinsip pengukuran massa jenis menggunakan media cairan, di mana selisih berat volume bahan dengan volume cairan dipakai untuk menghitung berat jenis partikel abu.

Tabel 2. Hasil Uji Berat Jenis

Parameter	Hasil Pengujian	Standar Pozzoland (g/cm ³)
Berat Abu	2,27 g/cm ³	2,20-2,90

Hasil pengujian menunjukkan bahwa abu kulit jeruk memiliki berat jenis sebesar 2,27 g/cm³, berada dalam kisaran standar pozzolan (2,20–2,90). Nilai ini lebih rendah dibandingkan semen Portland ($\pm 3,15$ g/cm³), namun masih dapat diterima untuk digunakan sebagai material substitusi. Hal ini menandakan bahwa abu kulit jeruk cukup layak digunakan dalam campuran beton, baik dalam hal penyesuaian volume maupun perhitungan massa material, tanpa mengganggu keseimbangan proporsi campuran secara keseluruhan.

C. Uji Waktu Ikat/ *Initial & Final Setting Time*

Pengujian waktu ikat bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat pasta semen mulai mengeras (ikat awal) hingga mencapai pengerasan sempurna (ikat akhir). Parameter ini penting untuk menilai pengaruh substitusi abu kulit jeruk terhadap proses hidrasi semen. Pengujian dilakukan dengan metode manual sesuai prinsip SNI 2049:2015 dan ASTM C191, yang mensyaratkan waktu ikat awal ≥ 45 menit dan ikat akhir ≤ 375 menit [9].

Tabel 3. Hasil Uji Waktu Ikat

No	Substitusi Abu (%)	Nilai Bulk	Nilai SSD
1	0	45	150
2	5	50	185
3	10	55	210
4	15	60	240
5	25	70	280

Berdasarkan hasil uji, terlihat bahwa penambahan abu kulit jeruk menyebabkan peningkatan waktu ikat, baik ikat awal maupun ikat akhir. Pada substitusi 25%, waktu ikat awal mencapai ± 70 menit dan waktu ikat akhir ± 280 menit, namun masih berada dalam batas yang diperbolehkan oleh standar. Hal ini menunjukkan bahwa abu kulit jeruk berpengaruh memperlambat hidrasi awal semen, tetapi tetap memenuhi syarat teknis sebagai bahan tambahan semen. Dengan demikian, abu kulit jeruk dapat dipertimbangkan sebagai material pozzolan tanpa mengganggu kelayakan pengerasan beton.

D. Pembahasan Umum Uji Bahan

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, abu limbah kulit jeruk menunjukkan karakteristik fisik yang memenuhi persyaratan sebagai bahan pozzolan menurut standar SNI dan ASTM.

Dari uji kehalusan, diperoleh nilai sebesar 81% lolos ayakan No.200, melebihi batas minimum standar SNI yaitu 75%. Hal ini menegaskan bahwa abu kulit jeruk memiliki butiran yang cukup halus untuk berasksi secara kimia dalam proses hidrasi semen. Kehalusan ini penting karena semakin tinggi fraksi halus, semakin besar pula potensi reaktivitas pozzolani yang dapat mendukung kekuatan beton.

Pada uji berat jenis, nilai yang diperoleh sebesar $2,27 \text{ g/cm}^3$, berada dalam kisaran standar berat jenis material pozzolan ($2,20\text{--}2,90 \text{ g/cm}^3$). Nilai ini memang lebih rendah dibandingkan semen Portland ($\pm 3,15 \text{ g/cm}^3$) [10], namun tetap dapat diterima untuk digunakan sebagai substitusi sebagian semen. Berat jenis yang relatif ringan ini juga berimplikasi pada penurunan berat volume beton, sehingga berpotensi menghasilkan beton yang lebih ringan tanpa mengurangi aspek fungsional.

Sementara itu, hasil uji waktu ikat menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan waktu ikat seiring bertambahnya persentase substitusi abu kulit jeruk. Pada variasi tertinggi (25%), waktu ikat awal mencapai ± 70 menit dan waktu ikat akhir ± 250 menit. Kedua nilai ini masih berada dalam rentang yang disyaratkan, yakni ikat awal ≥ 45 menit dan ikat akhir ≤ 375 menit. Hal ini mengindikasikan bahwa abu kulit jeruk berpengaruh memperlambat proses hidrasi awal semen, tetapi tetap memenuhi kelayakan teknis untuk digunakan dalam campuran beton.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa abu limbah kulit jeruk memiliki sifat fisik yang mendukung penggunaannya sebagai bahan substitusi semen. Kehalusan yang memadai, berat jenis yang sesuai dengan karakteristik pozzolan, serta waktu ikat yang masih memenuhi standar memberikan dasar yang kuat bahwa abu kulit jeruk dapat diaplikasikan dalam beton ramah lingkungan pada proporsi tertentu.

E. Interpretasi Umum dan Keterkaitan dengan Penelitian Sebelumnya

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa abu limbah kulit jeruk memiliki karakteristik fisik yang memenuhi syarat sebagai bahan pozzolan. Tingkat kehalusan yang melebihi standar minimum, berat jenis yang berada dalam kisaran standar pozzolan, serta waktu ikat yang masih sesuai ketentuan SNI dan ASTM membuktikan bahwa abu kulit jeruk layak digunakan sebagai substitusi sebagian semen dalam campuran beton.

Hasil ini konsisten dengan penelitian terdahulu yang juga memanfaatkan material berbasis abu sebagai pengganti sebagian semen atau agregat. Anshory et al. (2018) membuktikan bahwa abu vulkanik Gunung Kelud dapat meningkatkan kuat tekan dan berat jenis beton pada kadar substitusi tertentu. Firmansyah et al. (2022) menunjukkan bahwa abu daun bambu mampu meningkatkan kuat tekan beton meskipun peningkatannya tidak signifikan. Selanjutnya, Wahyuni et al. (2022) melaporkan bahwa penambahan abu sekam padi berpengaruh terhadap daya serap air, berat jenis, dan kuat tekan bata beton ringan foam, meskipun pada kadar tinggi justru menyebabkan penurunan mutu.

Dengan demikian, temuan penelitian ini memperkuat bukti empiris bahwa limbah organik maupun mineral hasil pembakaran dapat berfungsi sebagai material pengganti dalam beton. Perbedaan penelitian ini terletak pada fokusnya yang lebih menekankan pada uji kelayakan fisik abu kulit jeruk sebelum diaplikasikan ke dalam campuran beton. Pendekatan ini memberikan kontribusi baru dengan memastikan bahwa material substitusi telah memenuhi standar teknis sejak tahap awal, sehingga penerapannya dalam beton ramah lingkungan dapat lebih terarah, konsisten, dan berkelanjutan [11].

IV. Kesimpulan

Berdasarkan serangkaian pengujian laboratorium yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa abu limbah kulit jeruk memiliki potensi yang signifikan sebagai material substitusi sebagian semen dalam campuran beton. Hasil uji kehalusan menunjukkan bahwa 81% butiran abu mampu lolos ayakan No.200, melampaui batas minimum yang dipersyaratkan oleh standar SNI yaitu 75%. Hal ini mengindikasikan bahwa abu kulit jeruk memiliki ukuran partikel yang cukup halus untuk mendukung reaktivitas pozzolanik.

Hasil uji berat jenis menunjukkan nilai sebesar $2,27 \text{ g/cm}^3$, masih berada dalam rentang standar berat jenis material pozzolan ($2,20\text{--}2,90 \text{ g/cm}^3$). Walaupun lebih rendah dibandingkan semen Portland ($\pm 3,15 \text{ g/cm}^3$), nilai ini tetap sesuai untuk digunakan dalam perhitungan proporsi campuran beton dan dapat mendukung pengembangan beton dengan berat jenis lebih ringan.

Sementara itu, uji waktu ikat menunjukkan adanya peningkatan waktu ikat awal dan akhir seiring dengan meningkatnya persentase substitusi abu kulit jeruk. Pada variasi substitusi tertinggi (25%), waktu ikat awal tercatat sekitar 70 menit dan waktu ikat akhir sekitar 280 menit, yang masih berada dalam ketentuan standar (≥ 45 menit untuk ikat awal dan ≤ 375 menit untuk ikat akhir). Hal ini menandakan bahwa abu kulit jeruk cenderung memperlambat proses hidrasi awal semen, tetapi tetap dapat diterima secara teknis.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa abu limbah kulit jeruk memiliki karakteristik fisik yang layak untuk dimanfaatkan sebagai material alternatif ramah lingkungan dalam industri konstruksi. Pemanfaatannya diharapkan mampu mendukung pengurangan konsumsi semen Portland, mengurangi permasalahan limbah organik, serta menjadi langkah konkret dalam penerapan konsep pembangunan berkelanjutan. Untuk penelitian lebih lanjut, disarankan dilakukan uji mekanis beton seperti kuat tekan, kuat tarik belah, modulus elastisitas, serta pengujian durabilitas, agar diperoleh gambaran menyeluruh mengenai performa beton yang menggunakan substitusi abu kulit jeruk.

V. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah menyediakan dukungan akademik maupun fasilitas laboratorium selama penelitian ini berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing atas arahan, bimbingan, dan masukan yang sangat berharga dalam penyusunan artikel ini. Tidak lupa, penulis menghargai bantuan dan kerja sama rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil angkatan 2021 yang turut mendukung kelancaran kegiatan penelitian dan pengujian.

Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang material konstruksi serta menjadi referensi dalam upaya penerapan material alternatif yang ramah lingkungan pada sektor infrastruktur di masa mendatang.

VI. Referensi

- [1] B. Harsono dkk, *Bahan Bangunan*. Padang: CV. HEI PUBLISHING INDONESIA, 2025.
- [2] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-2834-2000 – Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta, Indonesia: BSN, 2000.
- [3] International Energy Agency, *Global CO₂ Emissions from Cement Production*. Paris, France: IEA, 2023.
- [4] T. A. Kurniawan and S. N. Aminah, “Pembuatan karbon aktif dari limbah kulit jeruk manis dan aplikasinya untuk adsorpsi zat warna,” *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 22, no. 1, pp. 30–39, 2021.
- [5] O. Olubajo, O. Osha, and B. Abdullahi, “Potential of orange peel ash as a cement replacement material,” *Path of Science*, vol. 5, no. 7, pp. 2009–2019, 2019.
- [6] J. L. Jones and R. W. Rice, “Loss-on-ignition testing of wood ash,” in *Proc. Int. Conf. Wood Sci. Technol.*, 2015.
- [7] D. A. Putri and R. Susanti, “Pemanfaatan kulit jeruk manis sebagai biosorben logam berat Cr(VI),” *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 18, no. 2, pp. 99–106, 2020.
- [8] A. M. Neville, *Properties of Concrete*, 5th ed. Harlow, U.K.: Pearson Education Limited, 2011.
- [9] ASTM International, *ASTM C494/C494M-13 – Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*. West Conshohocken, PA: ASTM, 2013.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 15-2049-2004 – Semen Portland*. Jakarta, Indonesia: BSN, 2004.
- [11] K. Tjokrodimuljo, *Teknologi Beton*. Yogyakarta, Indonesia: Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, 1996.

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.