

GREEN CONCRETE BERBASIS LIMBAH ORGANIK: TINJAUAN PENGGUNAAN ABU AMPAS KOPI DAN ABU KOTORAN SAPI SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN

Hanif Nasrullah¹, Muhammad Rafi'ul Ilmi¹, Calvin Alifianto¹, Fayzaki Dwi Nugroho¹, Yenny Nurchasanah^{1*}

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia

*Email: yn205@ums.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan abu ampas kopi dan abu kotoran sapi sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam pembuatan beton ramah lingkungan. Latar belakang penelitian ini didasari oleh tingginya emisi karbon dari produksi semen serta meningkatnya jumlah limbah organik yang belum dimanfaatkan secara optimal. Metode yang digunakan berupa studi literatur sistematis dengan mengkaji berbagai artikel ilmiah dari database *Scopus*, *Google Scholar*, dan *ResearchGate*. Parameter yang dianalisis meliputi persentase substitusi, kuat tekan beton, serta karakteristik kimia material. Hasil kajian menunjukkan bahwa abu ampas kopi memiliki sifat *pozzolanik* yang mampu meningkatkan kepadatan mikrostruktur beton pada kadar substitusi rendah, namun cenderung menurunkan performa mekanis apabila digunakan dalam jumlah berlebih akibat meningkatnya porositas campuran. Sementara itu, abu kotoran sapi menunjukkan performa yang lebih stabil dalam mempertahankan kuat tekan beton pada variasi substitusi menengah karena kandungan mineralnya yang mendukung proses hidrasi semen. Berbagai penelitian juga menunjukkan bahwa kombinasi kedua material berpotensi memberikan efek sinergis melalui interaksi kandungan silika dari abu ampas kopi dan kalsium dari abu kotoran sapi. Selain memberikan manfaat teknis, pemanfaatan kedua limbah organik tersebut turut berkontribusi terhadap pengurangan pencemaran lingkungan, penurunan emisi karbon, serta peningkatan pemanfaatan sumber daya lokal secara berkelanjutan. Dengan demikian, abu ampas kopi dan abu kotoran sapi berpotensi menjadi alternatif material yang mendukung pengembangan beton ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Kata kunci: Abu Ampas Kopi, Abu Kotoran Sapi, Beton Ramah Lingkungan, Kuat Tekan, Substitusi Semen

Abstract

This study aims to examine the utilization of coffee grounds ash and cow dung ash as partial substitutes for cement in environmentally friendly concrete production. The background of this research is driven by the high carbon emissions generated by cement production and the increasing amount of organic waste that has not been optimally utilized. The method used in this study is a systematic literature review by analyzing various scientific articles from Scopus, Google Scholar, and ResearchGate databases. The analyzed parameters include substitution percentage, concrete compressive strength, and chemical characteristics of the materials. The results indicate that coffee grounds ash possesses pozzolanic properties that can improve the density of the concrete microstructure at low substitution levels, although excessive usage tends to reduce the mechanical performance due to increased porosity. Meanwhile, cow dung ash demonstrates more stable performance in maintaining concrete compressive strength at moderate substitution levels because of its mineral content that supports the cement hydration process. Several studies also reveal that the combination of these two materials has the potential to produce a synergistic effect through the interaction between silica content from coffee grounds ash and calcium content from cow dung ash. In addition to providing technical advantages, the utilization of these organic wastes contributes to reducing environmental pollution, lowering carbon emissions, and improving the sustainable use of local resources. Therefore, coffee grounds ash and cow dung ash have significant potential as alternative materials for the development of sustainable and environmentally friendly concrete.

Keywords: Coffee Grounds Ash, Cow Dung Ash, Compressive Strength, Green Concrete, Cement Substitution.

1. PENDAHULUAN

Industri konstruksi dan bangunan, terutama beton, sangat krusial bagi pembangunan ekonomi global. Namun, ketergantungan yang tinggi pada sumber daya alam dan penggunaan semen Portland sebagai bahan pengikat utama berkontribusi secara signifikan terhadap emisi karbon dioksida CO². Produksi beton menyumbang sekitar 8% dari total emisi CO² secara global (Jamwal dkk., 2024; Habert dkk., 2020).

Menanggapi permasalahan ini, diperlukan inovasi dalam pengembangan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan guna menekan emisi gas rumah kaca dan mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan.

Salah satu upaya strategis untuk menekan dampak lingkungan dari industri beton adalah dengan mengurangi ketergantungan pada semen konvensional dan memanfaatkan limbah organik di sekitar menjadi material substitusi bernilai guna (Jamwal dkk., 2024; Meyer, 2009). Peningkatan populasi dan aktivitas manusia turut menghasilkan penumpukan limbah organik yang masif. Oleh karena itu, konversi limbah menjadi material substitusi beton merupakan langkah yang ekologis sekaligus ekonomis. Berdasarkan berbagai literatur, dua jenis limbah yang terbukti memiliki potensi besar sebagai pengganti sebagian semen adalah ampas kopi dan abu kotoran sapi.

Ampas kopi merupakan limbah biomassa padat dari sisa penyeduhan kopi yang banyak dijumpai di berbagai daerah, seperti di Kota Baubau dan Kediri. Limbah ini memiliki kandungan air tinggi (75-85%) dan senyawa organik yang mudah terurai (Masrsalina & Walujodjati, 2025; Hartini, 2021). Jika dibuang sembarangan, limbah ini dapat memicu bau tidak sedap dan mencemari biota perairan. Namun, ampas kopi memiliki potensi besar jika diolah menjadi abu melalui proses pembakaran terkontrol (Wimaya dkk., 2020). Abu ampas kopi berwujud partikel sangat halus yang mampu mengisi pori-pori beton dan memiliki sifat *pozzolanik*. Material ini juga mengandung kalsium dan kalium yang memicu reaksi aktif dalam beton (Hartini, 2021). Meskipun kandungan silikanya terbatas sehingga tidak dapat menggantikan semen dalam proporsi besar, penambahan abu ampas kopi dalam persentase tertentu terbukti mampu memodifikasi porositas dan meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan beton normal (Suwamuda & Firdaus, 2023).

Di sisi lain, limbah kotoran sapi juga kerap memicu masalah polusi udara, air, dan tanah di area peternakan (Kurniawan dkk., 2020). Padahal, material ini telah lama dimanfaatkan oleh masyarakat tradisional sebagai pelapis bangunan yang tahan terhadap suhu tinggi. Dalam konteks rekayasa material, abu kotoran sapi memiliki karakteristik *pozzolanik* yang baik dengan komposisi kimia dominan seperti silikon (Si), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan aluminium (Al) yang menyerupai semen konvensional (Ojedokun dkk., 2014; Jamwal dkk., 2024).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa substitusi abu kotoran sapi pada kisaran 10% hingga 15% dalam campuran beton masih mampu mempertahankan bahkan mendekati kuat tekan beton normal serta meningkatkan beberapa sifat mekanis seperti ketahanan terhadap abrasi (Kumar dkk., 2023; Omoniyi dkk., 2019; Rochmah, 2021).

Berdasarkan urgensi pengurangan emisi karbon dari penggunaan semen konvensional serta potensi yang dimiliki oleh limbah organik, inovasi pemanfaatan abu ampas kopi dan abu kotoran sapi sebagai substitusi parsial semen menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan dalam pengembangan material konstruksi berkelanjutan. Penggabungan kedua material ini diharapkan mampu memberikan kontribusi tidak hanya dalam menekan dampak lingkungan, tetapi juga dalam meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya lokal.

Penelitian ini memiliki kebaruan berupa kajian komprehensif terhadap kombinasi abu ampas kopi dan abu kotoran sapi sebagai dua jenis limbah organik yang belum banyak dianalisis secara bersamaan dalam penelitian sebelumnya, dengan tujuan untuk mengevaluasi potensinya dalam menghasilkan desain campuran (*mix design*) beton yang optimal, memenuhi persyaratan kuat tekan sesuai standar, serta mendukung pengembangan material konstruksi yang ramah lingkungan.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur sistematis (*systematic literature review*) untuk mengkaji potensi pemanfaatan abu ampas kopi dan abu kotoran sapi sebagai substitusi parsial semen dalam beton ramah lingkungan. Pendekatan ini dilakukan secara terstruktur guna memperoleh sintesis data yang komprehensif serta memiliki dasar ilmiah yang kuat. Sumber data diperoleh dari database ilmiah bereputasi, yaitu *Scopus*, *Google Scholar*, dan *ResearchGate*, dengan rentang tahun publikasi 2009 hingga 2025 untuk memastikan kebaruan dan relevansi informasi yang digunakan. Proses pencarian literatur dilakukan dengan menggunakan kata kunci seperti *coffee grounds ash*, *cow dung ash*, *green concrete*, dan *cement substitution*.

Literatur yang digunakan dalam penelitian ini dipilih melalui proses seleksi berdasarkan kriteria tertentu, yaitu artikel yang secara langsung membahas pemanfaatan abu ampas kopi atau abu kotoran sapi sebagai substitusi semen, memiliki data kuantitatif terutama terkait kuat tekan beton, dipublikasikan dalam jurnal nasional maupun internasional yang terindeks, serta menggunakan metode penelitian eksperimental yang jelas. Sementara itu, artikel yang tidak relevan secara langsung, tidak menyajikan data teknis yang memadai, atau hanya bersifat konseptual tanpa dukungan data empiris tidak dimasukkan dalam kajian. Berdasarkan proses tersebut, diperoleh sebanyak 23 artikel ilmiah yang selanjutnya dianalisis secara mendalam.

Analisis data dilakukan menggunakan metode deskriptif-komparatif dengan membandingkan berbagai parameter utama, seperti persentase substitusi material, nilai kuat tekan beton, karakteristik kimia material terutama kandungan silika dan kalsium, serta tren perubahan sifat mekanik beton akibat variasi campuran. Selain itu, dilakukan pula analisis sintesis untuk mengidentifikasi pola hubungan antara jenis material, kadar substitusi optimum, serta potensi interaksi kedua material dalam satu sistem campuran beton. Melalui pendekatan ini, penelitian tidak hanya menyajikan perbandingan hasil dari berbagai studi, tetapi juga mengevaluasi kemungkinan terbentuknya efek sinergis antara abu ampas kopi dan abu kotoran sapi dalam meningkatkan performa beton. Dengan demikian, metodologi yang digunakan diharapkan mampu memberikan gambaran yang lebih mendalam, sistematis, dan kritis terhadap pengembangan material beton berkelanjutan berbasis limbah organik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemanfaatan Abu Ampas Kopi dan Abu Kotoran Sapi sebagai Substitusi Semen

Pemanfaatan limbah organik sebagai bahan substitusi semen merupakan salah satu inovasi dalam pengembangan beton ramah lingkungan. Dua jenis limbah yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan adalah abu ampas kopi dan abu kotoran sapi. Kedua material ini tidak hanya membantu mengurangi permasalahan pencemaran lingkungan, tetapi juga berpotensi meningkatkan karakteristik mekanis beton apabila digunakan dalam proporsi yang tepat (Meyer, 2009).

Menurut Marsalina dan Walujodjati (2025), ampas kopi merupakan limbah biomassa padat yang dihasilkan dari sisa proses penyeduhan kopi. Limbah ini memiliki kandungan senyawa organik seperti kafein, polifenol, tanin, serta kadar karbon yang cukup tinggi (Marsalina & Walujodjati, 2025). Apabila tidak dikelola dengan baik, ampas kopi berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan.

Melalui proses pengolahan, ampas kopi dapat diubah menjadi abu yang bermanfaat sebagai material pengganti sebagian semen (Kua dkk., 2017). Proses pengolahannya dimulai dengan memisahkan ampas kopi dari material lain, kemudian dicuci hingga bersih dan dikeringkan dengan cara dijemur. Setelah kering, ampas kopi dibakar dalam oven pada suhu stabil 200°C selama 4 jam untuk menghasilkan arang, kemudian dibakar kembali pada suhu 400°C dalam *furnace electric*. Selanjutnya, abu dihaluskan dan diayak dengan saringan No.200 sehingga menjadi abu siap pakai (Wimaya dkk., 2020; Suwamuda & Firdaus, 2023).

Berbagai penelitian telah menguji substitusi abu ampas kopi dalam campuran beton. Secara umum, abu ampas kopi menunjukkan kecenderungan hasil yang menarik pada kadar substitusi rendah hingga menengah, dengan efektivitas yang sangat dipengaruhi oleh suhu pembakaran dan metode pengolahan (Alkhaly & Syahfitri, 2016; Panjaitan dkk., 2021; Suwamuda & Firdaus, 2023).

Selain ampas kopi, kotoran sapi juga merupakan limbah peternakan yang mempunyai kandungan serat tinggi (Ojedokun dkk., 2014). Kandungan hara pada kotoran sapi sangat tergantung dari makanan dan lingkungan hidup ternak; semakin bergizi makanan ternak, semakin tinggi kandungan unsur hara yang terkandung (Lingga & Marsono, 2006).

Berbagai penelitian juga telah menguji substitusi abu kotoran sapi dalam campuran beton. Secara umum, abu kotoran sapi menunjukkan kecenderungan yang lebih stabil pada kadar substitusi menengah, dengan kemampuan mempertahankan kuat tekan mendekati beton normal (Najib, 2021; Kumar dkk., 2023; Ojedokun dkk., 2014).

Dengan demikian, kedua material ini memiliki karakteristik yang saling melengkapi dan berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai material substitusi semen dalam beton ramah lingkungan.

3.2 Efektivitas Sapi dan Kopi sebagai Inovasi dalam Substitusi Semen

Berdasarkan kajian terhadap berbagai penelitian, substitusi abu ampas kopi dan abu kotoran sapi menunjukkan pola kecenderungan yang berbeda terhadap kuat tekan beton. Tabel 1 menyajikan perbandingan indikasi kadar menarik dari kedua material berdasarkan berbagai penelitian.

Tabel 1. Data Perbandingan Persentase substitusi semen dengan Abu Ampas Kopi dan Abu Kotoran Sapi dari banyak literatur

Bahan Substitusi	Peneliti (Tahun)	Kadar (%)	Kuat Tekan (Mpa)	Normal (MPa)	Keterangan
Abu Ampas Kopi	Alkhaly & Syahfitri (2016)	5	26,09	25,41	Peningkatan
	Panjaitan dkk. (2021)	5	25,19	25,11	Stabil
	Namrah & Muis (2022)	4	26,99	25,48	Peningkatan

Bahan Substitusi	Peneliti (Tahun)	Kadar (%)	Kuat Tekan (Mpa)	Normal (MPa)	Perubahan
	Nasution & Sadewo (2025)	3	11,93	7,38	Peningkatan
	Suwamuda & Firdaus (2023)*	10	12,00	12,50	Penurunan
Abu Kotoran Sapi	Najib (2021)	10	22,76	21,33	Peningkatan
	Kumar, dkk. (2023)	10	22,68	21,00	Peningkatan
	Ojedokun, dkk. (2014)	10	21,11	21,33	Penurunan
	Suprayogi (2022)**	5	14,37	14,59	Penurunan
	Erizal & Fawaid (2019)***	5	18,3 Kn	20,8 Kn	Penurunan

*Suhu bakar 400°C ; **Umur 5 hari ; ***Nilai dalam Kn

Berdasarkan Tabel 1, beberapa pola perbandingan dapat dianalisis. Untuk abu ampas kopi, dari lima penelitian yang dikaji, sebanyak empat penelitian (80%) menunjukkan indikasi kadar menarik pada kisaran 3-5%, dengan kecenderungan peningkatan atau stabilitas kuat tekan. Nilai kuat tekan tertinggi untuk AAK tanpa bahan tambahan dicapai oleh Namrah & Muis (2022) pada kadar 4% yaitu 26,99 MPa. Nasution & Sudewo (2025) melaporkan bahwa dengan penambahan substitusi AAK sebesar 3%, kuat tekan beton dapat meningkat hingga 11,93 MPa. Hanya satu penelitian (Suwamuda & Firdaus, 2023) yang menunjukkan indikasi kadar 10%, namun dengan kuat tekan (12,00 MPa) yang masih di bawah beton normal serta menggunakan suhu pembakaran yang lebih rendah (400°C).

Untuk abu kotoran sapi, dari lima penelitian yang dikaji, sebanyak tiga penelitian (60%) menunjukkan indikasi kadar menarik pada 10%, dengan nilai kuat tekan berkisar antara 21,11 MPa hingga 22,76 MPa. Dua penelitian (Najib, 2021; Kumar dkk., 2023) melaporkan peningkatan kuat tekan di atas beton normal, sementara Ojedokun dkk. (2014) melaporkan hasil yang mendekati beton normal. Dua penelitian lainnya menunjukkan indikasi pada kadar 5%, dengan kuat tekan 14,37 MPa (Suprayogi, 2022) dan 18,3 KN (Erizal & Fawaid, 2019).

Tabel 2. Perbandingan Karakteristik Substitusi Abu Ampas Kopi (AAK) dan Abu Kotoran Sapi

Parameter	Substitusi Inovasi	
	Abu Ampas Kopi (AAK)	Abu Kotoran Sapi (AKS)
Kisaran kadar indikasi	3-5% (umum), 10% (kondisi khusus*)	5-10%
Kadar dominan	5% (3 dari 5 penelitian)	10% (3 dari 5 penelitian)
Rentang kuat tekan (MPa)	12,00 - 37,34	18,30 - 22,76
Tren kuat tekan >10%	Penurunan drastis	Penurunan bertahap
Toleransi peningkatan kadar	Rendah	Tinggi
Konsistensi antar studi	Moderat (80% pada kadar 5%)	Tinggi (60% pada kadar 10%)
Faktor kritis	Suhu pembakaran, kehalusan abu	Kandungan kalsium, pakan ternak

Berdasarkan perbandingan karakteristik di atas pada Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa abu kotoran sapi memiliki toleransi yang lebih tinggi terhadap peningkatan persentase substitusi dibandingkan abu ampas kopi. Abu ampas kopi cenderung hanya efektif pada kadar yang sangat terbatas (sekitar 5%) dengan rentang kuat tekan yang bervariasi tergantung pada kondisi eksperimental. Sementara itu, abu kotoran sapi masih menunjukkan performa yang baik hingga kadar 10% dengan nilai kuat tekan yang relatif konsisten antar penelitian (21-23 MPa). Penambahan melebihi persentase tersebut pada kedua bahan akan menyebabkan penurunan kekuatan, sehingga pemilihan variasi campuran perlu diperhatikan agar kualitas beton tetap terjaga sesuai dengan kebutuhan struktur.

3.4 Dampak lingkungan dan berkelanjutan.

Industri semen saat ini menjadi penyumbang emisi CO₂ global yang signifikan, mencapai sekitar 8% (Jamwal dkk., 2024; Habert dkk., 2020). Penggunaan abu kotoran sapi dan abu ampas kopi untuk substitusi semen dapat menekan jejak karbon pada sektor konstruksi.

Pemanfaatan abu kotoran sapi menjawab persoalan sanitasi di lingkungan pemukiman. Kotoran sapi yang selama ini menjadi sumber polusi udara dan sarang penyakit dapat dikonversi menjadi material campuran beton yang lebih higienis dan bernilai guna (Rochmah, 2021; Kurniawan dkk., 2020).

- Kurniawan, K., Prihantono & Saleh, R. (2020). Pemanfaatan limbah kotoran sapi sebagai pengganti sebagian semen dalam pembuatan batako. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 53-57. <https://doi.org/10.21009/jmenara.v15i2.14214>
- Lingga, P. & Marsono. (2006). Petunjuk Penggunaan Pupuk. *Penebar Swadaya*, Jakarta. <https://books.google.co.id/books?id=KuX8CAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=id#v=onepage&q&f=false>
- Marsalina, S. & Walujodjati, E. (2025). Pengaruh limbah abu ampas kopi terhadap kuat lentur beton. *Jurnal Konstruksi*, 23(1), 177-188. <https://jurnal.itg.ac.id/index.php/konstruksi/article/view/1805>
- Meyer, C. (2009). The greening of the concrete industry. *Cement and Concrete Composites*, 31(8), 601-605. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.12.010>
- Najib, M. (2021). Pengaruh penambahan abu kotoran sapi sebagai substitusi campuran semen terhadap sifat mekanik beton. *Tesis. Universitas Islam Sultan Agung*. <https://repository.uinissula.ac.id/21639/>
- Namrah & Muis B, A. (2022). Pengaruh abu ampas kopi dengan bahan tambahan no drop plaston terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton. *Jurnal Karajata Engineering*, 2(1), 58-63. <https://jurnal.umpar.ac.id/karajata/article/view/1599/1028>
- Ojedokun, O.Y., Adeniran, A.A., Raheem, S.B. & Aderinto, S.J. (2014). Cow dung ash (CDA) as partial replacement of cementing material in the production of concrete. *British Journal of Applied Science & Technology*, 4(24), 3445-3454. <https://doi.org/10.9734/BJAST/2014/10754>
- Omoniyi, T.E., Duna, S. & Mohammed, A. (2019). Compressive strength characteristics of cow dung ash blended cement concrete. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(2). https://drive.google.com/file/d/1n4AIwbcuDf3DooBJ1CtcpuoToCWJy3/view?usp=drive_link
- Panjaitan, N., Ramadhani, R.S. & Sitanggang, E.S. (2021). Pengaruh abu ampas kopi terhadap kuat tekan dan porositas beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 45-52. <https://doi.org/10.51510/agregat.v1i1.84>
- Rochmah, N. (2021). Pemanfaatan limbah kotoran hewan pada campuran beton. *PAWON: Jurnal Arsitektur*, 5(2), 239-251. <https://doi.org/10.36040/pawon.v5i2.3469>
- Safitri, Y.E. (2020). Pengaruh pemanfaatan kotoran sapi sebagai bahan tambah pada campuran beton. *Skripsi. Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya*. <http://repository.untag-sby.ac.id/id/eprint/4609>
- Suwamuda, J. & Firdaus (2023). Pengaruh suhu pembakaran abu ampas kopi sebagai bahan substitusi parsial semen terhadap nilai kuat tekan mortar. *Jurnal Tekno*, 20(2), 64-79. <https://doi.org/10.33557/jtekno.v20i2.2719>
- Suprayogi. (2022). Pemanfaatan limbah kotoran hewan pada campuran beton di tinjau dari kuat tekan. *Skripsi thesis. Universitas Wiraraja Madura*. https://repository.wiraraja.ac.id/2744/?utm_source
- Wimaya, S., Candra, A.I. & Winarto, S. (2020). Modifikasi beton fc 9,8 MPa menggunakan abu ampas kopi. *JURMATEKS: Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 3(2). 234-246. https://www.academia.edu/86219287/Modifikasi_Beton_Fc_9_8_Mpa_Menggunakan_Abu_Ampas_Kopi