

Pemanfaatan *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus dalam Campuran Beton

Ari Endra Nasution^{1*}, Sucitra Wijaya², Silvia Christalline³, Muhammad Sodri Renjani⁴

Universitas Muara Bungo, Kabupaten Bungo-kode pos 37211, Indonesia

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

POFA; substitusi pasir; beton ramah lingkungan

*Correspondence email:

ariendra.tekniksipilumb@gmail.com

Submitted: 25-07-2024

Revised: 09-08-2025

Accepted: 10-08-2025

Published: 14-08-2025

ABSTRAK

Studi ini menyelidiki penggunaan *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) sebagai substitusi sebagian agregat halus (pasir) dalam campuran beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persentase optimal POFA dari beberapa persentase variasi POFA yang digunakan sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam campuran beton. Metodologi eksperimental digunakan pada penelitian ini dengan membuat benda uji berbentuk kubus 15 cm x 15 cm x 15 cm menggunakan SNI 03-2834-2000 (Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal) dengan variasi POFA yang digunakan adalah 0 % (beton normal), 5 %, 6 %, 7 %, 8 %, 9 %, 10 % dan 20 % terhadap berat agregat halus. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan beton yang dihasilkan dari benda uji yang menggunakan persentase POFA 0 % (spesimen kontrol) sebesar 228,6 kg/cm², sementara pada variasi 5 %, 6 %, 7 %, 8 %, 9 %, 10 % dan 20 % masing-masing sebesar 134,9; 156,9; 159,7; 198,3; 198,3; 151,5 dan 159,7 kg/cm². Dari hasil pengujian terlihat bahwa penambahan POFA pada seluruh variasi yang digunakan menyebabkan penurunan nilai kuat tekan beton terhadap spesimen kontrol. Substitusi agregat halus dengan menggunakan POFA sebesar 8 % dan 9 % menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi yang lain. Hasil pengujian juga menunjukkan adanya indikasi kenaikan kembali nilai kuat tekan beton pada variasi antara 10 % hingga 20 %.

ABSTRACT

Keywords:

pofoa; sand substitute; green concrete

This study investigates using Palm Oil Fuel Ash (POFA) as a partial substitute for some of fine aggregate (sand) in concrete mixtures. The goal is to determine the optimal percentage of POFA by testing several variations of its use as a substitute for fine aggregate. The study employed an experimental methodology involving the preparation of 15 cm x 15 cm x 15 cm cubic test specimens in accordance with SNI 03-2834-2000 (Procedures for Preparing Normal Concrete Mix Designs). The POFA percentages were 0% (control specimen), 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%, and 20%. Test results showed that the compressive strength of concrete produced using 0% POFA (normal concrete) was 228.6 kg/cm². The compressive strengths of concrete produced using 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, and 10% POFA were 134.9, 156.9, 159.7, 198.3, 198.3, and 151.5, 159.7 kg/cm², respectively. The test results indicate that adding POFA to the concrete decreased its compressive strength relative to control specimen. However, substituting fine aggregate with POFA at 8% and 9% resulted in higher compressive strength than the other variations. The results also indicated the potential for an increase in concrete compressive strength between 10% and 20%.

PENDAHULUAN

Sebagai salah satu negara produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia, Indonesia memiliki perkebunan kelapa sawit mencapai 15,93 juta hektar yang terdiri dari 54,08 % yang dikuasai oleh perkebunan swasta besar, 42,29 % perkebunan rakyat dan sisanya 3,63 % dikuasai oleh perkebunan besar negara. Sementara itu, produksi CPO di Indonesia mencapai 47,08 juta ton dan Propinsi Jambi memiliki capaian produksi hingga 2,21 juta ton (Badan Pusat Statistik, 2024)

Memperhatikan produksi yang sangat besar dari pabrik minyak kelapa sawit tersebut maka sebagai hasil sampingan dari proses produksi tersebut adalah berupa sisa hasil proses hasil pembakaran limbah kelapa sawit berupa serat, cangkang dan tandan kosong kelapa sawit. Proses pembakaran limbah sawit di dalam *boiler* akan menghasilkan limbah baru berupa abu kelapa sawit atau disebut POFA (*Palm Oil Fuel Ash*). POFA dihasilkan dari pembakaran limbah padat kelapa sawit pada suhu sekitar 800-1.000°C pada pembangkit listrik tenaga uap di pabrik kelapa sawit (Tangchirapat dalam Yuliana dkk, 2015).

POFA merupakan masalah bagi industri kelapa sawit karena memerlukan lahan pembuangan yang luas dan dapat menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan. Jumlah POFA yang meningkat setiap tahunnya dapat mengancam kelestarian lingkungan (Yuliana, Muhardi and Fatnanta, 2014). Untuk itu harus ada upaya terhadap permasalahan tersebut untuk mengurangi penyebarannya di alam terbuka.

Beton merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan dalam industri konstruksi (Nasution, Kurniawan and Thamrin, 2019). Sebagai salah satu material penyusun beton, pasir memiliki peranan penting terhadap kekuatan beton. Komposisi dari pasir terhadap material penyusun lainnya akan mempengaruhi kekuatan beton tersebut. Sifat pasir juga mempengaruhi kekuatan beton antara lain yaitu kekerasan butiran pasir dan ukuran maksimum agregat dalam campuran beton yang ditentukan (Gustina *et al.*, 2025).

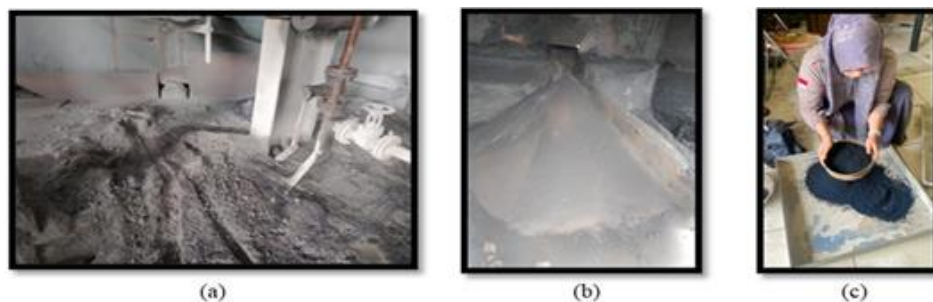
Berdasarkan kandungan kimianya, pada POFA terdapat senyawa SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 . Oleh karena itu POFA dapat dikategorikan sebagai salah satu material *pozzolan* (Farandia, Olivia and Darmayanti, 2014). Material *pozzolan* mampu menyerap air dalam jumlah yang lebih besar daripada semen (Eniarti *et al.*, 2025). ASTM C 618-03 (2002) mensyaratkan kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ pada material *pozzolan* sebesar 50 % untuk kelas C serta 70 % untuk kelas F dan N. Klasifikasi POFA sebagai bahan *pozzolan* terdapat beberapa pendapat yang disebabkan oleh perbedaan hasil komposisi kimianya. Perbedaan komposisi tersebut dikarenakan oleh kondisi saat pembakaran dan sumber materialnya (Sata, Jaturapitakkul and Rattanashotinunt, 2010). Ukuran partikel POFA yang halus dapat meningkatkan kinerja mikrostruktur beton yaitu dengan mengurangi porositas yang sejalan dengan peningkatan kekuatan tekannya (Hasan *et al.*, 2023). POFA juga berpotensi meningkatkan kinerja beton terhadap korosi (Dasar and Patah, 2024). Telah banyak dilakukan penelitian terkait POFA sebagai material substitusi parsial dari semen dalam pembuatan beton. POFA sebagai material substitusi parsial semen digunakan dalam volume yang cukup kecil sehingga pengaruhnya untuk mengurangi penyebarannya di alam terbuka tidak terlalu signifikan. Ukuran butiran POFA sebagai limbah yang dihasilkan dari pabrik kelapa sawit memungkinkan POFA digunakan sebagai agregat halus. Penggunaan POFA sebagai substitusi parsial agregat halus memungkinkan penggunaan POFA dalam volume yang lebih besar sehingga dapat mengurangi penyebarannya di alam terbuka dalam jumlah yang lebih banyak.

Rasid (2017) meneliti potensi POFA sebagai pengganti pasir pada beton dengan kandungan POFA yang bervariasi dari 0% hingga 20%. Studi ini menemukan bahwa penggantian POFA 10% meningkatkan kekuatan tekan beton sekitar 19%. Demikian pula Wan Ahmad *et al.*, (2020) mengevaluasi pengaruh POFA sebagai substitusi parsial pasir pada beton ringan yang menunjukkan bahwa penggunaan POFA dengan komposisi 10% menghasilkan kuat tekan beton yang lebih tinggi daripada specimen control dan spesimen dengan POFA 5 % dan 15 %. Kemudian Hashim *et al.*, (2019) menggunakan POFA sebagai substitusi parsial pasir pada beton dengan menggunakan dua metode pencampuran yaitu *powder method* dan *liquidation method*. Variasi yang digunakan adalah 0 %, 5 % dan 10 % dari berat pasir. Hasil pengujian tekan yang didapat menunjukkan bahwa variasi 10 % menghasilkan kuat tekan yang lebih besar daripada variasi yang lainnya.

Penelitian ini menggunakan beberapa variasi dengan interval yang cukup kecil yaitu 1 % dan satu variasi dengan interval yang cukup besar yaitu 10 % sebagai pengganti sebagian dari agregat halus. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penggunaan POFA dengan variasi yang telah ditentukan terhadap *workability* dan kuat tekan beton. Penelitian dengan menggunakan POFA dalam campuran beton diharapkan dapat mengurangi jumlahnya di alam terbuka sekaligus melihat keandalannya sebagai material untuk membuat beton ramah lingkungan (*green concrete*)

METODE

Material POFA pada penelitian ini diambil dari pabrik pengolahan kelapa sawit PT. Sari Aditya Loka 1 di Desa Muara Delang Kecamatan Tabir Selatan Kabupaten Merangin Propinsi Jambi, yang merupakan anak perusahaan dari PT. Astra Agro Lestari Tbk. yang bergerak di bidang usaha perkebunan dan pengolahan kelapa sawit. Campuran beton normal dibuat sesuai dengan acuan SNI 03-2834-2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal dengan kuat tekan rencana K 225 yang digunakan sebagai acuan. Material POFA yang digunakan adalah material yang lolos saringan nomor 4 dan tertahan pada saringan nomor 200 sesuai spesifikasi agregat halus dalam SNI 03-1968-1990 (Gambar 1).



Gambar 1. a). Material POFA hasil sisa pembakaran di pabrik (b). Tumpukan sampel POFA yang diambil dari pabrik (c). Proses penyaringan POFA menggunakan saringan.

Sumber : Dokumentasi pribadi (2024)

Variasi penggunaan POFA yang digunakan adalah 0 % (spesimen kontrol), 5 %, 6 %, 7 %, 8 %, 9 %, 10 % dan 20 % terhadap berat agregat halus yaitu dengan mengganti berat agregat halus pada komposisi spesimen kontrol sebesar masing-masing persentase tersebut sementara komposisi material penyusun beton yang lain tetap. Komposisi masing-masing bahan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Campuran

Kode Benda Uji	Semen (gram)	Pasir (gram)	POFA (gram)	Agregat Kasar 2/3 (gram)	Agregat Kasar 1/2 (gram)	Air (ml)
POF 0	3150	1400	0	1810	1950	1200
POF 5	3150	1330	70	1810	1950	1200
POF 6	3150	1316	84	1810	1950	1200
POF 7	3150	1302	98	1810	1950	1200
POF 8	3150	1288	112	1810	1950	1200
POF 9	3150	1274	126	1810	1950	1200
POF 10	3150	1260	140	1810	1950	1200
POF 20	3150	1120	280	1810	1950	1200

Sumber: Data Perhitungan (2024)

Pembuatan benda uji dibuat di Laboratorium Bidang Bina Konstruksi Dinas PUPR Kabupaten Merangin dengan menggunakan cetakan kubus ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm. Pengujian slump dilakukan terhadap masing-masing variasi campuran. Setelah benda uji dilepas dari cetakan maka dilakukan proses *curing*. Kemudian pada umur 28 hari dilakukan uji tekan kubus menggunakan alat uji tekan (*universal testing machine*).

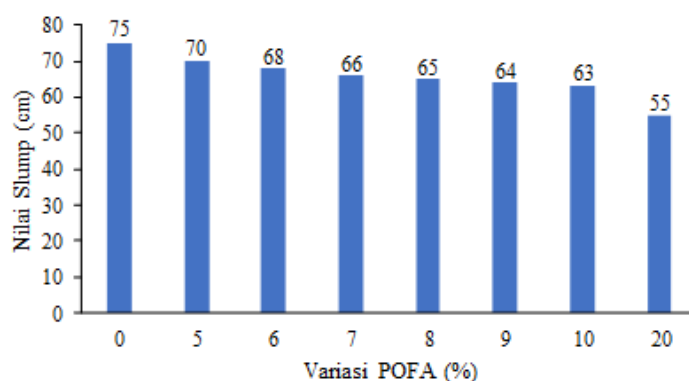
HASIL

Hasil uji slump masing-masing variasi campuran dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Uji Slump

Kode Benda Uji	Nilai Slump (cm)
POF 0	75
POF 5	70
POF 6	68
POF 7	66
POF 8	65
POF 9	64
POF 10	63
POF 20	55

Sumber: Hasil Pengujian (2024)



Gambar 2. Grafik hasil uji slump Tiap Variasi Campuran

Sumber : Hasil pengujian (2024)

Berdasarkan hasil uji slump pada Tabel 2 dan Gambar 2 terhadap masing-masing variasi campuran terlihat bahwa penambahan POFA dapat mengurangi tingkat *workability* pada beton segar. Hal ini terlihat dengan semakin tinggi persentase POFA yang digunakan maka semakin rendah nilai slump yang dihasilkan.

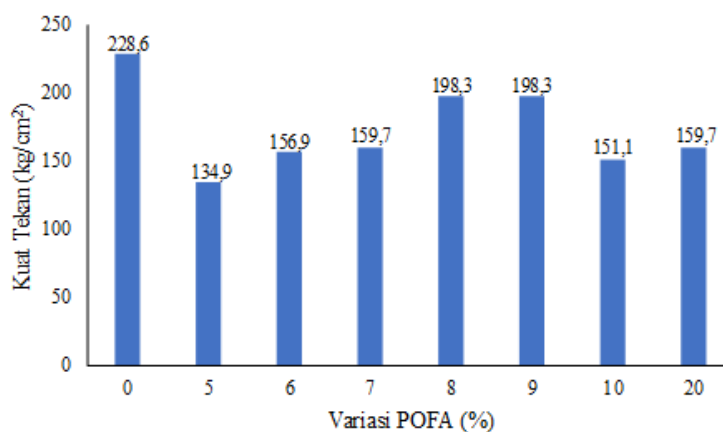
Hasil pengujian kuat tekan benda uji untuk masing-masing variasi dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari

Kode Benda Uji	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Penurunan Kuat Tekan* (%)
POF 0	228,6	-
POF 5	134,9	40,98
POF 6	156,9	31,36
POF 7	159,7	30,14
POF 8	198,3	13,25
POF 9	198,3	13,25
POF 10	151,5	33,73
POF 20	159,7	30,14

* perbandingan terhadap beton normal

Sumber: Hasil Pengujian (2024)



Gambar 3. Grafik hasil pengujian kuat tekan

Sumber: Hasil Pengujian (2024)

Dari hasil pengujian kuat tekan benda uji pada Tabel 3 dan Gambar 3 didapat nilai kuat tekan beton normal sebesar 228,6 kg/cm² dari kuat tekan rencana yaitu sebesar 225 kg/cm². Data hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa seluruh variasi POFA yang digunakan pada penelitian ini menyebabkan penurunan nilai kuat tekan beton dibandingkan terhadap spesimen kontrol. Variasi POFA 5 % menyebabkan penurunan kuat tekan sebesar 40,98 % terhadap kuat tekan beton normal. Selanjutnya variasi POFA 6 %, 7 %, 8% dan 9 % menunjukkan nilai kuat tekan beton yang kembali naik dari variasi POFA 5 %. Kuat tekan beton pada variasi POFA 8 % dan 9 % menunjukkan nilai optimal dari seluruh variasi. Variasi POFA 10 % menunjukkan penurunan nilai kuat tekan dari variasi optimal. Akan tetapi variasi POFA 20 % kembali menunjukkan kenaikan kuat tekan dari variasi POFA 10 % namun tidak signifikan.

Pembahasan

Hasil pengujian slump memperlihatkan penggunaan POFA pada campuran beton dapat menurunkan tingkat *workability* pada beton. Hal ini karena karena POFA sebagai bahan *pozzolan* menyerap banyak air sehingga mengurangi kadar air bebas dalam beton.

Berbeda dengan beberapa penelitian sebelumnya yang mana penggunaan POFA pada komposisi tertentu memberikan nilai kuat tekan beton yang lebih tinggi daripada spesimen kontrol, pada penelitian ini seluruh variasi POFA yang digunakan memberikan nilai kuat tekan beton yang lebih kecil daripada spesimen kontrol. Nilai kuat tekan pada variasi POFA sebesar 5 % menunjukkan penurunan yang cukup signifikan akan tetapi pada variasi 6 % hingga 9 % menunjukkan kenaikan kembali nilai kuat tekan. Variasi POFA sebesar 10 % menunjukkan penurunan kembali nilai kuat tekan namun pada variasi POFA 20 % menunjukkan kenaikan kuat tekan dibanding dengan variasi POFA 10 %. Penurunan kuat tekan pada seluruh variasi disinyalir disebabkan oleh rendahnya kandungan senyawa *pozzolanik* (yang tidak diuji kandungannya terlebih dahulu) dalam sampel POFA yang digunakan pada penelitian ini.

SIMPULAN

Penggunaan POFA pada campuran beton dapat menurunkan tingkat *workability*. Penggunaan sampel POFA sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam penelitian ini pada seluruh variasi yang digunakan menyebabkan penurunan nilai kuat tekan beton. Tidak semua material POFA memberikan komposisi optimal untuk meningkatkan kuat tekan beton. Agar material POFA digunakan sesuai dengan syarat kelayakannya sebagai bahan *pozzolan* maka perlu pengujian kandungan senyawa *pozzolanik* terlebih dahulu sebelum digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 618-03 (2002) *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*.
- Badan Pusat Statistik (2024) *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2023*, Badan Pusat Statistik. Edited by E. Marsoro. Badan Pusat Statistik.
- Badan Standarisasi Nasional (1990) *SNI 03-1968-1990 (Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar)*.
- Badan Standarisasi Nasional (2000) *SNI 03-2834-2000 (Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal)*.
- Dasar, A. and Patah, D. (2024) 'Kekuatan dan Durabilitas Beton Menggunakan Palm Oil Fuel Ash (POFA) dan Pasir Pantai', *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 8(1), pp. 83–94. Available at: <https://doi.org/10.35334/be.v8i1.5090>.
- Eniarti, M. et al. (2025) 'Durabilitas Mortar Dengan Replacement Bahan Pozzolan Terhadap Lingkungan Agresif', *Spektrum Sipil*, 12(1), pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.29303/spektrum.v12i1.379>.
- Farandia, R.Y., Olivia, M. and Darmayanti, L. (2014) 'Kinerja Beton High Volume Pofa', *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 1(1), pp. 1–12.
- Gustina, G. et al. (2025) 'Perbandingan Kuat Tekan Beton Menggunakan Campuran Sirtu Terhadap Beton Normal', *Jurnal Talenta Sipil*, 8(1), p. 451. Available at: <https://doi.org/10.33087/talentsipil.v8i1.838>.
- Hasan, N.M.S. et al. (2023) 'Eco-friendly concrete incorporating palm oil fuel ash: Fresh and mechanical properties with machine learning prediction, and sustainability assessment', *Heliyon*, 9(11), p. e22296. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22296>.
- Hashim, N.H. et al. (2019) 'Utilisation of palm oil fuel ash (Pofa) as sand replacement for fresh and hardened concrete by using powder and liquidation method', *Journal of Physics: Conference Series*, 1349(1), pp. 0–8. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1349/1/012055>.
- Nasution, A.E., Kurniawan, R. and Thamrin, R. (2019) 'Shear behavior of fly ash reinforced concrete beam without shear reinforcement', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 602(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/602/1/012104>.
- Rasid, M.H. Bin (2017) *The Potential of Palm Oil Fuel Ash As Partial Sand Replacement in Concrete*. Universiti Malaysia Pahang. Available at: <http://umpir.ump.edu.my/id/eprint/18068>.
- Sata, V., Jaturapitakkul, C. and Rattanashotinunt, C. (2010) 'Compressive Strength and Heat Evolution of Concretes Containing Palm Oil Fuel Ash', *Journal of Materials in Civil Engineering - J MATER CIVIL ENG*, 22. Available at: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000104](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000104).
- Tangchirapat, W. et al. (2007) 'Use of waste ash from palm oil industry in concrete', *Waste management (New York, N.Y.)*, 27, pp. 81–88. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.12.014>.
- Wan Ahmad, S. et al. (2020) 'Effect of Unground Palm Oil Fuel Ash as Partial Sand Replacement on Compressive Strength of Oil Palm Shell Lightweight Concrete', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 712(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/712/1/012034>.
- Yuliana, R., Muhardi and Fatnanta, F. (2014) 'Karakteristik Fisis Dan Mekanis Abu Sawit (Palm Oil Fuel Ash) Dalam Geoteknik', *JOMFTEKNIK-UNRI*, 1(1), pp. 1–13. Available at: <https://media.neliti.com/media/publications/205800-karakteristik-fisis-dan-mekanis-abu-sawi.pdf>.