

Jurnal Taxiway
e-ISSN : 2685-7464
jurnal.taxiway@upp.ac.id

Vol. 4 No. 2 – Juli 2025
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Pasir Pengaraian

ANALISIS SUBSTITUSI SEBAGIAN SEMEN DENGAN *PALM OIL FUEL ASH* (POFA) PADA BETON POROUS TERHADAP NILAI KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS

Muara Rizki Nur Hidayah⁽¹⁾, Harriad Akbar Syarif⁽²⁾ dan Bambang Edison⁽²⁾
Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pasir Pengaraian,
,Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pasir Pengaraian.

Email: [muara.rizki.9@gmail.com^{\(1\)}](mailto:muara.rizki.9@gmail.com) , [harriadakbarsyarif@upp.ac.id^{\(2\)}](mailto:harriadakbarsyarif@upp.ac.id) ,
[bambang.edison@gmail.com^{\(2\)}](mailto:bambang.edison@gmail.com)

INFO ARTIKEL

Diterima
Tersedia
Online Juli 2025

Kata kunci:

Beton Porous; Abu sawit;
Kuat Tekan;
Permeabilitas

ABSTRAK

Beton porous/berongga adalah suatu inovasi dalam dunia konstruksi yang ramah lingkungan. Beton ini memiliki struktur berongga yang memungkinkan air permukaan meresap kedalam tanah. Industri kelapa sawit di Indonesia menghasilkan *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) dari abu limbah pembakaran kelapa sawit yang sulit dikelola. Zat *Silikon Dioksida* (SiO_2) yang terkandung pada POFA berpotensi untuk dipakai sebagai bahan substitusi semen pada penelitian ini.

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimen di laboratorium untuk menentukan nilai optimal pemanfaatan abu sawit (POFA) sebagai pengganti semen, dengan mengukur kuat tekan dan permeabilitas beton porous..

Hasil substitusi POFA terhadap berat semen pada beton porous dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% mengakibatkan penurunan kuat tekan, namun pada variasi 15% POFA naik menjadi 5,2 MPa. Permeabilitas beton porous dengan substitusi POFA tertinggi pada 5% yaitu 1,219 cm/detik, namun menurun seiring penambahan POFA. Beton porous dengan POFA cenderung berwarna gelap atau hitam, dan semakin tinggi substitusi POFA, nilai kuat tekan dan permeabilitas menurun. Nilai kuat tekan dan permeabilitas beton porous dengan substitusi POFA terhadap berat semen memenuhi persyaratan ACI 522R-10.

Keyword:

Concrete Pervious; Palm

Ash; compressive strength; Permeability

Abstract

Concrete pervious/porous is an innovation in environmentally friendly construction. It has a hollow structure that allows surface water to seep into the ground. The palm oil industry in Indonesia produces Palm Oil Fuel Ash (POFA) from the ash of palm oil combustion waste which is difficult to manage. POFA contains high silicon dioxide and has the potential to be used as a cement substitute.

This research uses a quantitative method with a laboratory experiment approach to determine the optimal value of palm oil fuel ash (POFA) utilisation as a cement substitute, by measuring the compressive strength and permeability of porous concrete.

The results of POFA substitution to the weight of cement in pervious concrete with variations of 0%, 5%, 10%, and 15% resulted in a decrease in compressive strength, but at 15% POFA variation increased to 5.2 MPa. Permeability of pervious concrete with POFA substitution was highest at 5%, namely 1.219 cm/sec, but decreased with the addition of POFA. Pervious concrete with POFA tends to be dark or black in colour, and the higher the POFA substitution, the lower the compressive strength and permeability values. The compressive strength and permeability values of pervious concrete with POFA substitution by weight of cement meet the requirements of ACI 522R-10.

PENDAHULUAN

Infrastruktur pembangunan dalam lingkungan perkotaan berkembang dengan sangat cepat, terutama pada negara maju. Namun, tidak semua perkembangan selalu memiliki dampak positif tanpa adanya dampak negatif, Salah satu dampak negatif dari suatu perkembangan infrastruktur adalah pada perubahan alam menjadi bangunan yang mengubah segalanya seperti menebang pohon, meratakan tanah, serta membagi lahan untuk dijadikan urbanisasi.

Dampak negatif dari urbanisasi diantaranya, permukaan tanah yang tertutup bangunan, sehingga mengurangi area resapan air hujan ke permukaan tanah seperti bangunan, trotoar, terowongan. Serta salah satu penyebab terbesarnya adalah jalan raya dan tempat parkir. Permukaan yang kedap air akan menjadi sebuah masalah besar, karena saat hujan turun air harus mengalir ke suatu tempat karena tidak bisa masuk meresap kedalam tanah. Hal ini berpotensi akan mengakibatkan banjir dan pencemaran air, sebab suatu bangunan luas dapat menutup permukaan tanah seperti tempat parkir yang luas. Hal tersebut menyebabkan gangguan yang cukup signifikan terhadap beberapa proses alami resapan air pada permukaan tanah.

Beton berpori/porous, yang juga dikenal sebagai *concrete pervious* merupakan inovasi terbaru ramah lingkungan dalam konstruksi perkerasan jalan. Karena beton ini memiliki struktur dengan rongga-rongga udara yang berfungsi untuk mengarahkan aliran air permukaan ke dalam tanah. Beton berpori dapat menciptakan ruang hampa

udara yang dapat dilewati air dan memiliki nilai slump yang sangat kecil atau bahkan mendekati nol. Komposisinya terdiri dari campuran semen Portland, agregat kasar, sedikit atau bahkan tanpa agregat halus serta bahan tambah, dan air [1].

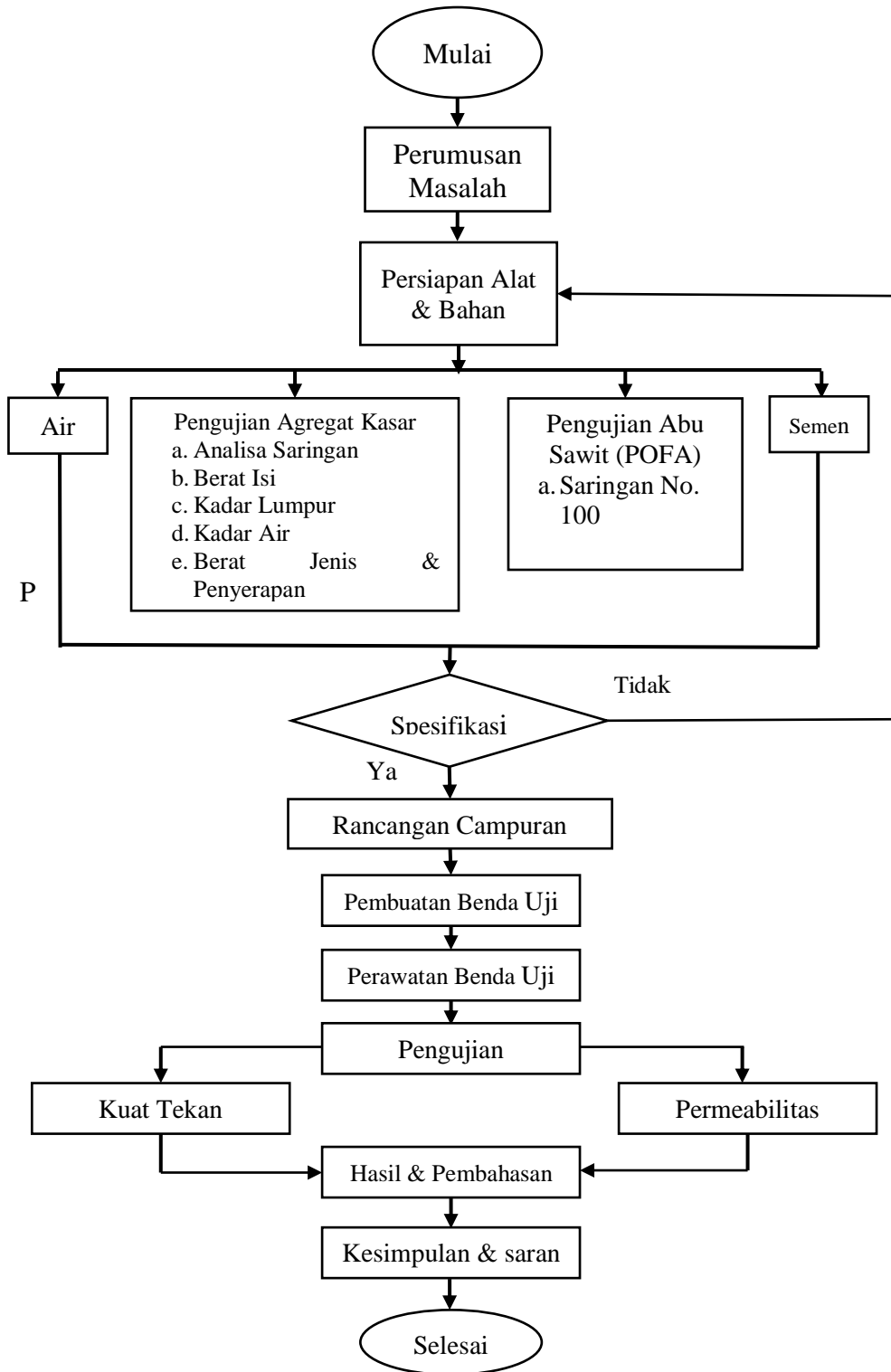
Untuk nilai FAS (w/cm) pendekatan pertama melibatkan pemilihan nilai rasio air-semen (w/cm) antara 0,27 dan 0,36, kemudian mengevaluasi konsistensi campuran dalam batch percobaan. Disarankan menggunakan nilai yang lebih rendah (0,27 hingga 0,30) saat menggunakan pereduksi air. Jika pereduksi air tidak digunakan, maka nilai w/cm antara 0,31 dan 0,36 dapat dipilih. Campurkan beberapa batch pasta semen dengan rasio air-semen bervariasi dari 0,27 hingga 0,40 sertakan campuran dengan dosis yang tepat. Pencampuran bisa mencakup penggunaan pereduksi air, pengendali set, penstabil hidrasi, atau modifikasi viskositas [8].

Sebagai negara berkembang, Indonesia memiliki sektor industri yang cukup maju, termasuk industri kelapa sawit yang merupakan salah satu sektor utamanya. Dari proses pengolahan limbah kelapa sawit, dihasilkan abu limbah yang dikenal sebagai *Palm Oil Fuel Ash* (POFA). Masalah utama yang dihadapi industri kelapa sawit adalah pengelolaan limbah ini, yang memerlukan lahan pembuangan yang luas. Jumlah POFA yang terus meningkat setiap tahunnya menjadi ancaman bagi kelestarian lingkungan. Untuk mengatasi masalah ini, salah satu solusinya adalah dengan memanfaatkan POFA sebagai bahan stabilisasi tanah, sehingga dapat mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan dan mencegah kerusakan lingkungan. POFA mengandung silikon dioksida yang tinggi dan berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pengganti semen. POFA adalah bahan *pozzolanic* yang menjanjikan dan banyak tersedia di seluruh bagian dunia [16].

Oleh sebab itu dengan berbagai permasalahan diatas, dilakukan penelitian dengan judul “Analisis Substitusi Sebagian Semen Dengan *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) Pada Beton Porous Terhadap Nilai Kuat Tekan Dan Permeabilitas”.

METODE PENELITIAN

Gambar 1. Bag an Alir Pen elitan



Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimen yang dilakukan

akan di laboratorium untuk mendapatkan nilai variasi optimal pemanfaatan abu sawit atau POFA sebagai bahan substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan dan

permeabilitas beton porous. Metode ini digunakan untuk meneliti menggunakan alat ukur atau instrumen penelitian untuk pengumpulan data.

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Pasir Pengaraian dengan waktu yang telah dikehendaki. Agregat kasar batu pecah split 1-2 diambil dari PT. Sarana Andalan Semesta yang beralamat di Kecamatan Rambah Kabupaten Rokan Hulu. Abu sawit POFA diambil dari PT. ISB yang beralamat di Surau Tinggi, Rokan Hulu, Riau. POFA yang disubstitusi dengan semen menggunakan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15%.

Benda uji kuat tekan dibuat dengan menggunakan cetakan kubus berukuran panjang 15 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm sebanyak 3 buah setiap variasi. Untuk pengujian permeabilitas benda uji dibuat dengan menggunakan cetakan silinder berukuran diameter 15 cm dengan tinggi 15 cm sebanyak 3 buah setiap variasi.

Perencanaan campuran beton porous menggunakan *Trial and Error* di laboratorium serta mengikuti acuan ACI 522R-2010. Adapun langkah-langkah dalam perencanaan penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Pengujian agregat kasar meliputi :
 - 1) Analisa Saringan
 - 2) Berat Isi
 - 3) Kadar Lumpur
 - 4) Kadar Air
 - 5) Berat Jenis & Penyerapan
2. Langkah berikutnya mengenai perhitungan campuran beton porous mengacu pada Report ACI 522R-10 tentang beton porous yang meliputi beberapa langkah yaitu sebagai berikut :
 - 1) Menentukan berat kondisi agregat kasar kering
 - 2) Menyesuaikan berat tersebut dengan berat SSD
 - 3) Menentukan volume pasta
 - 4) Menentukan kandungan semen
 - 5) Menentukan kadar air
 - 6) Menentukan volume padat benda
 - 7) Cek kandungan rongga
 - 8) Proporsi Pencampuran

Pengujian Permeabilitas

Pengujian infiltrasi dalam permeabilitas beton porous dilakukan untuk mendapatkan kinerja beton porous dalam meloloskan air. Pengujian infiltrasi dilakukan dengan cara menuangkan volume air tertentu ke permukaan sampel beton porous dan diukur waktunya [12]. Pengujian permeabilitas beton porous pada penelitian ini menggunakan prinsip *Falling Head Permeability* dengan alat sederhana yang dibuat sendiri mengikuti contoh pada Report ACI 522R-10.



Gambar 2. Pengujian Permeabilitas Sederhana

Menggunakan rumus : $I = \frac{4V}{D^2\pi t}$ (1)

- Dengan: I = Infiltrasi (cm/detik)
V = Volume air (cm³)
D = Diameter sampel (cm)
t = Waktu air surut (detik)

Pengujian Kuat Tekan

Kekuatan tekan beton dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kekuatan agregat, kekuatan semen, dan kekuatan ikatan antara semen dan agregat. Pengujian kekuatan tekan beton dihitung menggunakan rumus berikut :



Gambar 3. Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$ (kg/cm²) (2)

- Dimana : P = Beban Maksimum (kg)
A = Luas Penampang Benda Uji (cm²)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Material

Pengujian material agregat kasar pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan dan Struktur Teknik Sipil Universitas Pasir Pengaraian.. Hasil dari pengujian agregat kasar dapat dilihat dalam tabel dibawah ini.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Satuan	Keterangan
1.	Berat Jenis <i>Bulk</i>	2,5-2,7	2,602	gr/cm ³	Memenuhi
2.	Berat Jenis <i>Apparent</i>	> 2,5	2,632	gr/cm ³	Memenuhi
3.	Berat Volume	1,5-1,8	1,757	gr/cm ³	Memenuhi
4.	Penyerapan	< 2,5%	1,16	%	Memenuhi
5.	Kadar Lumpur	< 1%	0,549	%	Memenuhi

Tingkatan ukuran agregat yang digunakan pada beton porous biasanya berupa agregat kasar berukuran antara 9,5 mm sampai 19 mm. Agregat bulat maupun agregat batu pecah yang umum digunakan untuk membuat beton porous. Agregat yang digunakan harus memenuhi persyaratan ASTM D448 dan C33/C33M [1].

Tabel 2. Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar

Ukuran Saringan		Berat	%	%	Berat	%	%	Rata Rata
Inci	mm	Tertahan	Tertahan	Lolos	Tertahan	Tertahan	Lolos	Rata Rata
11/2"	37,50	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00
3/4"	19,05	20,80	2,08	97,92	40,70	4,07	95,93	96,93
3 / 8 "	9,50	874,00	87,33	10,59	866,40	86,57	9,36	9,98
# 4	4,75	93,30	9,32	1,27	81,80	8,17	1,19	1,23
# 8	2,36	12,70	1,27	0,00	11,90	1,19	0,00	0,00
# 16	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
# 30	0,600	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
# 50	0,300	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
# 100	0,160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
# 200	0,075	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Dari tabel analisa saringan agregat kasar batu pecah split 1-2, pada saringan 19,05 mm, persen lolos agregat mencapai 96,93%, memenuhi kriteria gradasi ideal 90-100 pada tabel 3.1. Sedangkan di saringan 9,50 mm, nilainya 9,98%, sesuai untuk campuran beton porous gradasi split 1-2.

Secara umum material agregat kasar yang telah di uji memenuhi spesifikasi SNI 03-2834-1993 dan SNI 03-2834-2000 dan dapat digunakan sebagai rancangan campuran pada beton.

Hasil Pengujian Komposisi Kimia Pofa

Abu sawit atau POFA yang digunakan untuk bahan substitusi dengan semen merupakan abu sawit yang lolos saringan no.100. Zat *Silikon Dioksida* (SiO_2) yang terkandung pada POFA berpotensi untuk dipakai sebagai bahan substitusi semen. Tangchirapat telah membuktikan bahwa POFA dapat dipakai sebagai bahan pengganti semen atau sebagai agregat dalam beton karena sifat pozzolan yang dimilikinya.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kimia Abu POFA

No	Parameter Uji	Satuan	Hasil Analisis	Metode Analisis
1	Silikon Dioksida (SiO_2)	%	46,41	SNI 2049 2015, butiran 7,1,3,2
2	Aluminium Oksida (Al_2O_3)	%	7,47	SNI 2049 2015, butiran 7,1,3,8
3	Besi (III) Oksida (Fe_2O_3)	%	1,15	SNI 2049 2015, butiran 7,1,3,4
4	Kalsium Oksida (CaO)	%	5,71	SNI 2049 2015, butiran 7,1,3,9
5	Potasium Oksida (K_2O)	%	2,37	SNI 2049 2015, butiran 7,1,3,13
6	Posfat Pentaoksida (P_2O_5)	%	0,93	SNI 2049 2015, butiran 7,1,3,4
7	Kadar air	%	10,36	SNI 02-2804-2005, butiran 6,4

Sumber : Badan Riset dan Standarisasi Industri Padang, Kementerian Perindustrian, 2021

Hasil Perhitungan Proporsi Campuran Beton Porous

Sebelum ditentukan menggunakan FAS 0,4 bahwasannya peneliti telah melakukan perhitungan yang sama seperti diatas untuk melakukan percobaan pembuatan sample (*Trial Mix*) yakni menggunakan FAS 0,3 0,38 0,4 dan 0,42. Hasil yang diperoleh dari percobaan empat jenis FAS tadi merujuk pada penggunaan nilai FAS 0,4 karena setelah diamati memiliki karakter yang lebih baik dibanding nilai FAS yang lain. Seperti pada saat proses pengadukan sample trial dengan nilai FAS 0,4 memiliki kelecekan pasta semen yang pas untuk dicetak.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Proporsi Beton Porous

35,3 ft ³ (1 m ³)		
Semen	462,10 lb	210 kg
Air	184,84 lb	84 kg atau liter
Agregat (SSD)	3878,15 lb (SSD)	1760 kg (SSD)
FAS	0,4	0,4

Untuk pembuatan benda uji sampel kubus, setiap variasi dibuat dalam satu kali adukan dengan 3 buah sampel kubus dengan takaran proporsi seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. Proporsi Campuran Satu Kali Adukan Sampel Kubus

Substitusi POFA	POFA (gram)	Semen (gram)	Air (gram)	Agregat Kasar (gram)
0%	-	2124	850	17820
5%	108	2016	850	17820
10%	215	1909	850	17820
15%	322	1802	850	17820



Gambar 4. Sampel Kubus Beton Porous Substitusi POFA Terhadap Berat Semen

Sedangkan untuk sampel permeabilitas yang berbentuk silinder, setiap variasi juga dibuat dalam satu kali adukan dengan takaran proporsi untuk 3 buah sampel seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 6. Proporsi Campuran Satu Kali Adukan Variasi Sampel Permeabilitas

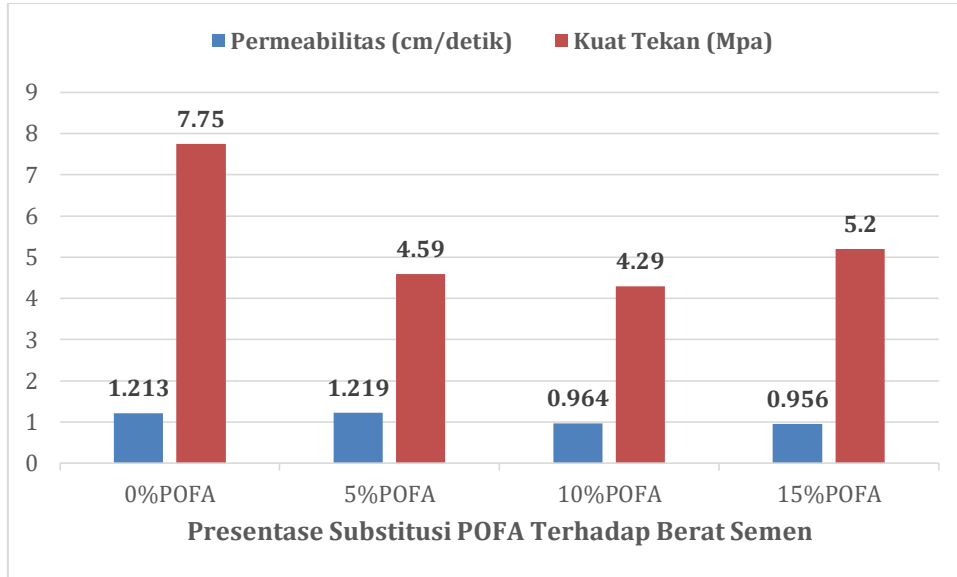
Substitusi POFA	POFA (gram)	Semen (gram)	Air (gram)	Agregat Kasar (gram)
0%	-	1667	667	13989
5%	83	1584	667	13989
10%	166	1501	667	13989
15%	250	1417	667	13989



Gambar 5. Sampel Permeabilitas Beton Porous Substitusi POFA Terhadap Berat Semen

Hasil Nilai Kuat Tekan Dan Permeabilitas

Nilai hasil permeabilitas dan kuat tekan beton porous dengan substitusi POFA terhadap berat semen pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini.



Gambar 6. Hasil Nilai Permeabilitas Dan Kuat Tekan Beton Porous Dengan Substitusi POFA Terhadap Berat Semen

Berdasarkan pada hasil penelitian ini diketahui bahwa beton porous dengan substitusi POFA terhadap berat semen menyebabkan penurunan terhadap nilai kuat tekan. Dimana nilai kuat tekan beton porous dengan substitusi POFA terhadap berat semen tertinggi diperoleh pada presentase 0% POFA sebesar 7,75 MPa dan nilai kuat tekan terendah pada presentase 10% POFA dengan nilai sebesar 4,29 MPa, namun pada presentase 15% POFA nilai kuat tekan mengalami kenaikan dengan nilai diperoleh sebesar 5,2 MPa, hal ini . Sedangkan untuk nilai permeabilitas beton porous dengan substitusi POFA terhadap berat semen tertinggi diperoleh pada presentase 5% POFA sebesar 1,219 cm/detik dan untuk nilai permeabilitas terendah pada presentase 15% POFA dengan nilai sebesar 0,956 cm/detik.

KESIMPULAN

Dari data analisis pada pembahasan sebelumnya, maka penulis dapat menyimpulkan beberapa hal pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

1. Kuat tekan beton porous dengan substitusi POFA terhadap berat semen dengan presentase variasi substitusi 0%, 5%, 10%, dan 15% mengakibatkan penurunan pada nilai kuat tekan beton porous, namun terdapat kenaikan nilai kuat tekan pada variasi 15% POFA yaitu sebesar 5,2 MPa. Nilai kuat tekan beton porous dengan substitusi POFA terhadap berat semen memenuhi persyaratan ACI 522R-10 yaitu sebesar 2,8 MPa – 28 MPa.
2. Permeabilitas beton porous dengan substitusi POFA terhadap berat semen menghasilkan nilai yang tinggi pada variasi substitusi 5% POFA yaitu sebesar 1,219 cm/detik, namun seiring bertambah nya variasi substitusi POFA terhadap berat semen nilai permeabilitas mengalami penurunan. Nilai permeabilitas beton porous dengan substitusi POFA terhadap berat semen memenuhi persyaratan ACI 522R-10 yaitu sebesar 0,14 cm/detik – 1,22 cm/detik.
3. Karakteristik beton porous substitusi POFA terhadap berat semen menghasilkan beton porous yang berwarna cenderung gelap atau hitam karena serta semakin tinggi nilai variasi substitusi POFA terhadap berat semen mengakibatkan menurunnya nilai kuat tekan dan permeabilitas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis haturkan untuk segala kemudahan serta kelancaran yang telah penulis terima dalam menyelesaikan penelitian ini, baik dari aspek religi maupun materi dan yang paling penting yaitu mental.

BIBLIOGRAFI

- [1] ACI 522R-10. (2010). Report on Pervious Concrete, ACI 522R-10. In *American Concrete Institute* (Vol. 10, Issue Reapproved).
- [2] Agus, I. (2022). Desain Beton Berongga (Porous Concrete) Dengan Variasi Faktor Air Semen (FAS) Sebagai Beton Ramah Lingkungan. *Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil UNIDAYAN*, 11(1), 18–24.
- [3] Agus, I., & Arfandi, L. O. M. (2017). Pengaruh Penggunaan Bahan Tambah Zat Additive (Big Lion) Pada Beton Berongga. *Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil UNIDAYAN*, 6(1), 11–20.
- [4] Desmaliana, E., Hazairin, H., Herbudiman, B., & Lesmana, R. (2018). Kajian Eksperimental Sifat Mekanik Beton Porous dengan Variasi Faktor Air Semen. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 19–29.
- [5] Karimah, R., & Prasajo, A. (2019). Pembuatan Beton Porous Dengan Material Geopolimer. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 17(1), 64–69.
- [6] M. Agustina, Wahyono, S. C., & Manik, T. N. (2022). Pengaruh Fly Ash Dan Air Gambut Terhadap Porositas Dan Kuat Tekan Beton Porous Di Kalimantan Selatan. *Jurnal Fisika FLUX*, 53(9), 1689–1699.
- [7] Manalip, H., & Wallah, S. E. (2019). Kuat Tekan Dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Variasi Ukuran Agregat. *Jurnal Sipil Statik*, 7 No. 3(3), 351–358.
- [8] NRMCA. (2009a). Pervious Concrete : Guideline to Mixture Proportioning. *National Ready Mixed Concrete Association, February*.
- [9] NRMCA. (2009b). *PIP 3-Acceptance Testing of Pervious Concrete*.
- [10] Purnamasari, E., & Handayani, F. (2020). Pengaruh Air Gambut Terhadap Beton Porous Menggunakan Agregat Kasar Handil Bakti. *Seminar Nasional Teknik, 2020*(Senastika)
- [11] Purnamasari, E., Saukani, M., & Ridzeki, F. (2021). Pengaruh Air Lahan Gambut di Kalimantan Selatan Terhadap Beton Porous dengan Penambahan Fly Ash. *Borneo Engineering : Jurnal Teknik Sipil*, 5(2), 215–224.
- [12] Setiawan, A. (2021). *Evaluasi Sifat Mekanik Dan Hidraulik Beton Porous Dengan Variasi Campuran*. 3, 327–332.
- [13] SNI-1974. (2011). Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder, SNI 1974-2011. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 20.
- [14] SNI 03-6817, B. S. N. (2002). SNI 03-6817-2002 Metode Pengujian Mutu Air untuk Digunakan dalam Beton. *Badan Standar Nasional*, 4–5.
- [15] SNI 15-2049, D. P. U. (2004). Semen Portland. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia 15-2049-2004*.
- [16] Tangchirapat, W., Saeting, T., Jaturapitakkul, C., Kiattikomol, K., & Siripanichgorn, A. (2007). Use of waste ash from palm oil industry in concrete. *Waste Management*, 27(1), 81–88.