P-10

PEMANFAATAN ABU CANGKANG SAWIT (*PALM OIL KERNEL SHELL ASH*) SEBAGAI BAHAN SUBTITUSI SEMEN PADA *PERVIOUS CONCRETE*

UTILIZATION OF PALM OIL KERNEL SHELL ASH AS CEMENT SUBTITUTIONS MATERIAL IN PERVIOUS CONCRETE

Andi Taufiq Muzakkir [1*], Sujiati Jepriani [2], Joko Suryono [3]
[1, 2, 3]Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda
Jl. Ciptomangunkusumo Kampus Gunung Panjang, Kota Samarinda 75131, Kalimantan Timur

[*]E-mail: anditaufiqmuzakkir99@gmail.com

Diterima 18-10-2021	Diperbaiki 19-10-2021	Disetujui 22-10-2021

ABSTRAK

Pervious concrete merupakan bentuk sederhana dari beton ringan yang dibuat dengan cara mengurangi atau menghilangkan penggunaan agregat halus. Abu cangkang sawit dapat digunakan sebagai pozzolan, yaitu bahan halus yang mengandung silika (SiO_2) dan alumina (AI_2O_3) yang dapat bereaksi dan membentuk bahan semen. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh abu cangkang sawit terhadap kuat tekan, jenis variasi beton yang paling optimum serta pengaruh porositas dan permeabilitas terhadap kuat tekan pervious concrete. Variasi penambahan abu cangkang sawit yang digunakan yaitu 0%, 5%, 7,5% dan 10%. Jumlah sampel yang dibuat sebanyak 12 sampel setiap varian dengan faktor air semen (FAS) 0,30. Pengujian meliputi uji kuat tekan, porositas dan permeabilitas. Dari hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 14, 28 dan 56 hari diperoleh persentase optimum pada variasi 7,5% abu cangkang sawit dengan peningkatan kuat tekan karakteritik sebesar 14,71% yaitu dari 10,453 MPa menjadi 11,991 MPa. Hasil dari pengujian porositas terendah pada variasi 7,5% abu cangkang sawit dengan nilai porositas rata-rata 6,05%. Pengujian permeabilitas menunjukkan nilai permeabilitas terendah pada variasi 7,5% abu cangkang sawit dengan nilai permeabilitas rata-rata 2,66 mm/det. Nilai permeabilitas tersebut memenuhi persyaratan pervious concrete pada ACI 522R-10 yaitu antara 1,4 – 12,2 mm/det.

***Kata kunci** : Pervious Concrete, Abu Cangkang Sawit, Kuat Tekan, Porositas, Permeabilitas*

ABSTRACT

Pervious concrete is a simple form of lightweight concrete made by reducing or eliminating the use of fine aggregate. Palm Oil Kernel Shell Ash (PKSA) can be used as a pozzolan, a fine material containing silica (SiO_2) and alumina (AI_2O_3) that can react and form cement materials. This research aims to determine the effect of palm oil kernel shell ash on compressive strength, the most optimum type of concrete variation as well as the influence of porosity and permeability on compressive strength of pervious concrete. Variations in the addition of palm shell ash used were 0%, 5%, 7.5% and 10%. The number of samples made was 12 samples for each variant with a water cementitious material (w/cm) is 0.30. The tests include compressive strength, porosity and permeability tests. From the results of testing the compressive strength of concrete at the age of 14, 28 and 56 days obtained the optimum percentage at a variation of 7.5% of palm oil kernel shell ash with an increase in characteristic compressive strength of 14.71% from 10.453 MPa to 11.991 MPa. Results from porosity testing were lowest on a variation of 7.5% palm oil kernel shell ash with an average porosity value of 6.05%. Permeability testing showed the lowest permeability value at a variation of 7.5% palm oil kernel shell ash with an average permeability value of 2.66 mm/sec. The permeability value meets the pervious concrete requirements in ACI 522R-10, which is between 1.4 – 12.2 mm/sec.

***Keywords :** Pervious Concrete, Palm Oil Kernel Shell Ash (PKSA), Compressive Strength, Porosity, Permeability.*

PENDAHULUAN

Pembangunan konstruksi yang meningkat pesat menimbulkan dampak yang besar tehadap lingkungan yaitu perubahan fungsi lahan hijau menjadi permukiman/wilayah industri. Penggunaan beton konvensional sebagai bahan konstruksi khususnya pada perkerasan jalan, dapat mengakibatkan air hujan tidak dapat berinfiltrasi kedalam tanah dan mengakibatkan limpasan permukaan (*surface runoff*) menjadi lebih besar. Salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu dengan penggunaan *pervious concrete*.

Keberadaan perkebunan kelapa sawit di Kalimantan mampu berkontribusi sebesar 71% terhadap produksi *Crude Palm Oil* (CPO) nasional [3]. Selain menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO), kelapa sawit juga menghasilkan limbah yang sangat banyak salah satunya adalah cangkang sawit. Dalam 1 ton kelapa sawit akan menghasilkan limbah cangkang (*shell*) sebanyak 6,5% atau 65 kg [2]. Abu cangkang sawit memiliki potensi sebagai bahan pozzolanic yang menjanjikan dan banyak tersedia di seluruh bagian dunia [4]. Pemanfaatan abu cangkang sawit yang tepat dapat mengurangi penggunaan semen dan mengurangi volume limbah sehingga sangat bermanfaat bagi kelestarian lingkungan [4].

Penelitian eksperimen tentang pengaruh pencampuran abu cangkang sawit terhadap kuat tekan beton menyatakan penambahan 7,5% abu cangkang sawit dapat meningkatkan kuat tekan beton dan menghasilkan kuat tekan sebesar 32,137 MPa [5] demikian pula penelitian tentang beton bermutu dan ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah abu cangkang Sawit menemukan bahwa penggunaan abu cangkang sawit sebesar 6% dapat meningkatkan kuat tekan beton dengan nilai kuat tekan sebesar 27,84 MPa [6]

Walaupun pemanfaatan abu cangkang sawit sudah mulai tersebar luas karena dapat meningkatkan kuat tekan beton normal, namun untuk penelitian abu cangkang sawit terhadap kekuatan *pervious concrete* masih terbatas sehingga masih perlu diteliti lebih lanjut, salah satunya adalah tentang pengaruh pemanfaatan abu cangkang sawit terhadap karakteristik *pervious concrete*.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan pengaruh abu cangkang sawit pada *pervious concrete* berdasarkan nilai kuat tekan pada umur 14 hari, 28 hari dan 56 hari serta nilai porositas dan permeabilitas pada umur 28 hari pada dengan variasi penambahan abu cangkang sawit sebesar 0%, 5%, 7,5% dan 10% dari berat semen yang mengacu pada ACI 522R-10 [1].

Pervious concrete mampu menghasilkan ruang kosong sebagai rongga udara sebesar 15% hingga 25% dari total keseluruhan volumenya serta memiliki nilai slump yang sangat kecil atau bahkan mendekati nol, yang terbentuk dari campuran semen portland, agregat kasar, sedikit atau tidak sama sekali agregat halus, bahan tambah dan air. Kombinasi bahan-bahan ini ketika dituang, dipadatkan dan dirawat dengan benar, menghasilkan suatu bahan keras yang memiliki permeabilitas 1,4-12,2 mm/detik dengan kekuatan sedang 2,8 MPa hingga 28 MPa [1].

Penggunaan *pervious concrete* sebagai *paving stone* didasarkan secara fungsional dan digolongkan pengelompokkannya berdasarkan mutu *paving block* yaitu menurut SNI 03-0691-1996 [7]. Adapun pengklasifikasian *paving block* berdasarkan mutu-mutunya dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Mutu *paving block*

Mutu	Kuat Tekan (*MPa*)	
	Rata-rata	Min.
A	40	35
B	20	17.0
C	15	12.5
D	10	8.5

1. Tipe A : digunakan untuk jalan
2. Tipe B : digunakan untuk parkiran
3. Tipe C : digunakan untuk pejalan kaki
4. Tipe D : digunakan untuk taman

METODOLOGI

Dalam penelitian ini pengujian dilakukan secara bertahap, yaitu terdiri atas pengujian material (semen, agregat kasar dan abu cangkang sawit), rancangan campuran dan pembuatan benda uji beton serta pengujian benda uji.

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen PCC tipe I Merk Tiga Roda, Agregat kasar split (*crushed stone*) dari daerah palu, ukuran agregat maksimum 20 mm dengan gradasi menerus dan Abu cangkang sawit dari pabrik kelapa sawit PT. NIAGAMAS GEMILANG di Desa Jonggon Jaya, Kec. Loa Kulu, Kab. Kutai Kartanegara yang telah dijemur dan diayak saringan no. 200.

Perancangan benda uji dilakukan setelah diketahui data peralatan dan data material yang digunakan untuk pembuatan benda uji. Selanjutnya dilakukan perancangan benda uji

Tabel 3. Jumlah benda uji kuat tekan

Variasi	Keterangan	Umur Pengujian (hari)			Jumlah
		14	28	56	
I	Beton Normal	3	3	3	9
II	Beton 5% Abu Cangkang Sawit	3	3	3	9
III	Beton 7,5% Abu Cangkang Sawit	3	3	3	9
IV	Beton 10% Abu Cangkang Sawit	3	3	3	9

Tabel 4. Jumlah benda uji porositas dan permeabilitas

Variasi	Keterangan	Jenis Pengujian		Jumlah
		Porositas	Permeabilitas	
I	Beton Normal	3	3	6
II	Beton 5% Abu Cangkang Sawit	3	3	6
III	Beton 7,5% Abu Cangkang Sawit	3	3	6
IV	Beton 10% Abu Cangkang Sawit	3	3	6

sesuai dengan data yang diperlukan dan sesuai dengan tujuan penelitian. Perancangan meliputi desain dimensi benda uji dan data pemeriksaan material yang dipilih untuk pembuatan benda uji apakah bahan yang akan digunakan memenuhi syarat atau tidak bila digunakan sebagai data rancangan campuran beton. Bentuk benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah silinder dengan dimensi 10 cm x 20 cm. Dalam penelitian ini akan dibuat 36 benda uji untuk pengujian kuat tekan, 12 benda uji untuk pengujian porositas dan 12 benda uji untuk pengujian permeabilitas. Kuat tekan yang direncanakan dalam penelitian ini adalah 10 MPa, berdasarkan ACI 522R-10 [1] proporsi campuran beton untuk 1 m3 adalah sebagai berikut:

Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat beton berumur 14 hari, 28 hari dan 56 hari, Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menggunakan *Strength Compressive Machine* yang mengacu pada SNI 03-1974-2011 [8], pengujian porositas dilakukan berdasarkan metode perendaman dalam air oleh Van Vlack [9] pada umur beton 28 hari yang bertujuan untuk mengetahui suatu perbandingan antara volume rongga-rongga udara terhadap volume total dari benda uji, dan pengujian permeabilitas berdasarkan metode falling head pada ACI 522R-10 [1] bertujuan untuk mengetahui kecepatan aliran air yang melalui benda uji dengan mengalirkan air pada alat uji ke dalam benda uji dengan umur pengujian 28 hari.

Perawatan benda uji (curing) dilakukan untuk menghindari panas hidrasi yang tidak diinginkan dan untuk memastikan reaksi hidrasi senyawa semen termasuk bahan tambah atau pengganti dapat berlangsung secara optimal sehingga mutu beton yang diharapkan dapat tercapai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

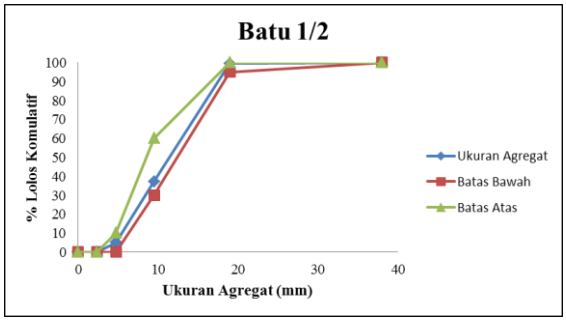
Data hasil pengujian direkap dan kemudian digambarkan dalam bentuk tabel dan grafik hubungan. Hasil pengujian karakteristik semen didapatkan data seperti pada Tabel 5, dapat dilihat bahwa nilai konsistensi normal, setting time, berat jenis dan kehalusan semen memenuhi standar yang telah ditentukan. Hasil pengujian gradasi agregat dan sifat fisik agregat kasar memenuhi standar yang telah ditentukan dan dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 1.

Tabel 5. Hasil pengujian karakteristik semen PCC merk Tiga Roda

Karakteritik	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
Konsistensi normal	24% - 30%	24,3%	Memenuhi
Setting time			
Pengikatan awal	Min. 45 menit	93,97 menit	Memenuhi
Pengikatan akhir	Maks. 375 menit	135 menit	Memenuhi
Berat Jenis	3,00 - 3,20	3,00	Memenuhi
Kehalusan semen	Min. 90%	100%	Memenuhi

Tabel 6. Hasil pengujian karakteristik agregat kasar (batu pecah ½)

Karakteristik	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
Bobot isi	1,4 - 1,9 gr/cm³	1,475 gr/cm³	Memenuhi
Kadar air	0,5% - 2%	1,343%	Memenuhi
Berat Jenis	2,5 - 2,8	2,641	Memenuhi
Penyerapan	0,2% - 2%	1,346%	Memenuhi
Modulus kehalusan butir	5,0 - 8,0	5,540	Memenuhi
Abrasi (keausan)	< 40%	19,7%	Memenuhi



Gambar 1. Grafik diameter butiran agregat kasar (batu pecah ½)

Hasil pengujian slump beton disajikan pada Tabel 7 dibawah ini.

Tabel 7. Uji slump beton segar

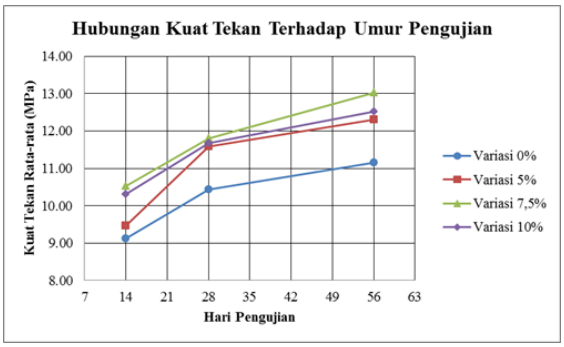
Variasi Abu Cangkang Sawit (%)	Slump (cm)
0	19
5	18
7,5	15,5
10	16

Analisa data hasil pengujian kuat tekan rata-rata *pervious concrete* dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengujian kuat tekan beton terhadap variasi abu cangkang sawit

Umur (hari)	Kuat Tekan Beton (MPa)			
	0%	5%	7,5%	10%
14	9.12	9.46	10.53	10.31
28	10.44	11.59	11.80	11.67
56	11.16	12.31	13.03	12.52

Dari pengujian kuat tekan beton variasi I (abu cangkang sawit 0%) didapat nilai kuat tekan rata-rata pada umur 14 hari sebesar 9,12 MPa. Kuat tekan terus mengalami kenaikan pada umur 28 hari yaitu sebesar 10,44 MPa dan umur 56 hari sebesar 11,16 MPa, nilai kuat tekan beton telah memenuhi kuat tekan yang direncanakan yaitu 10 MPa.



Gambar 2. Hubungan antara kuat tekan beton variasi abu cangkang sawit terhadap umur pengujian

Pada variasi II (abu cangkang sawit 5%) dengan mensubtitusi semen dengan abu cangkang sawit menyebabkan kuat tekan beton lebih tinggi dibandingkan dengan variasi I. Kuat tekan rata-rata pada umur pengujian 14 hari didapat sebesar 9,46 MPa yang artinya kuat tekan mengalami kenaikan terhadap kuat tekan beton normal. Kuat tekan terus mengalami kenaikan pada umur 28 hari yaitu sebesar 11,59 MPa dan umur 56 hari sebesar 12,31 MPa.

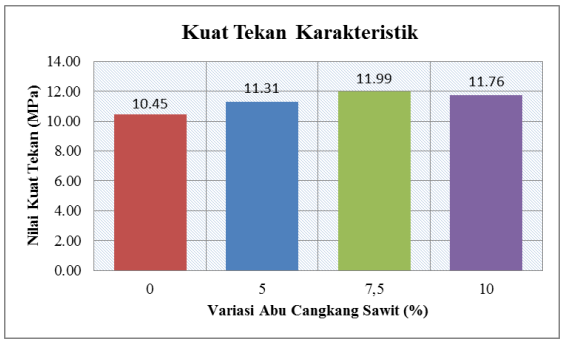
Pada variasi III (abu cangkang sawit 7,5%) dengan bertambahnya subtitusi semen dengan abu cangkang sawit membuat kuat tekan beton terus meningkat. Kuat tekan rata-rata pada umur pengujian 14 hari sebesar 10,53 MPa yang artinya kuat tekan mengalami kenaikan terhadap kuat tekan variasi sebelumnya. Kuat tekan terus mengalami kenaikan pada umur 28 hari yaitu sebesar 11,80 MPa dan umur 56 hari sebesar 13,03 MPa.

Pada variasi IV (abu cangkang sawit 10%) didapat kuat tekan rata-rata pada umur 14 hari sebesar 10,31 MPa yang artinya kuat tekan mengalami penurunan terhadap kuat tekan variasi III tetapi masih lebih tinggi daripada kuat tekan variasi I dan II. Kuat tekan mengalami penurunan pada umur 28 hari yaitu sebesar 11,67 dan umur 56 hari sebesar 12,52 MPa. Penurunan ini terjadi karena penggunaan abu cangkang sawit yang semakin meningkat membuat beton menjadi mudah retak karena mengalami proses hidrasi yang singkat.

Kuat tekan karakteristik (*f'ck*) yaitu nilai kuat tekan serangkaian data pengujian kuat tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari dan ditetapkan sebagai nilai kuat tekan karakteristik beton tersebut. Nilai ini dipengaruhi oleh nilai deviasi standar (penyimpangan) dari data pengujian kuat tekan beton yang didapat dari laboratorium.

Tabel 9. Nilai *f'ck pervious concrete* abu cangkang sawit

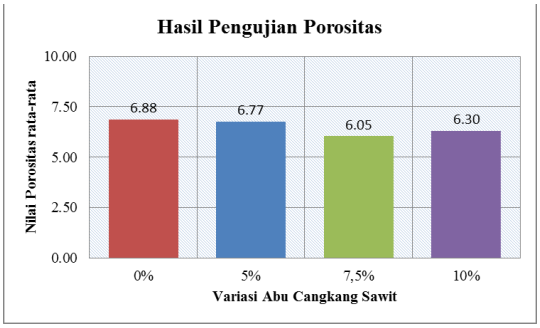
Variasi Abu Cangkang Sawit (%)	Nilai Kuat Tekan Karakteristik (MPa)	Peningkatan (%)
0	10.453	0.0
5	11.309	8.19
7,5	11.991	14.71
10	11.755	12.46



Gambar 3. Hubungan nilai kuat tekan karakteristik terhadap variasi abu cangkang sawit

Berdasarkan Tabel 9 dan Gambar 3 dapat diketahui bahwa kadar abu cangkang sawit optimum adalah 7,5% dengan nilai kuat tekan karakteristik sebesar 11,991 MPa, meningkat 14,71% dari nilai kuat tekan beton normal, dan terjadi peningkatan nilai kuat tekan pada beton dengan variasi 10% abu cangkang sawit yaitu sebesar 12,46% dari beton normal tetapi lebih kecil dari beton dengan variasi 7,5%.

Pengujian porositas dilakukan dengan menimbang berat benda uji pada kondisi kering dan kondisi kering permukaan (SSD). Analisa data hasil pengujian porositas rata-rata *pervious concrete* dapat dilihat pada Tabel 10



Gambar 4. Hubungan variasi abu cangkang sawit dan nilai porositas

Hasil pengujian porositas *pervious concrete* menggunakan abu cangkang sawit yang disajikan pada Tabel 10 dan Gambar 4 dapat diketahui bahwa nilai porositas rata-rata *pervious concrete* yang menggunakan abu cangkang sawit paling rendah terjadi pada kadar abu cangkang sawit 7,5% yaitu 6,05%. Nilai porositas yang semakin rendah menunjukkan bahwa beton tersebut semakin padat dan memiliki durabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan porositas dengan kadar abu cangkang sawit yang lainnya. Dengan hasil tersebut maka dapat diketahui bahwa abu cangkang sawit berfungsi baik sebagai pengisi (*filler*) pada campuran *pervious concrete*, bukan hanya sebagai pengganti sebagian semen. Nilai porositas yang semakin naik pada kadar 10% dikarenakan jumlah pori yang lebih banyak. Nilai porositas yang didapatkan belum memenuhi persyaratan yang terdapat pada ACI 522R-10 yaitu 15% sampai 25% dari total volumenya, hal tersebut dikarenakan metode

Tabel 10. Hasil pengujian porositas *pervious concrete* dengan variasi abu cangkang sawit

Variasi ACS	No. Sampel	Berat Kering (Wk)	Berat SSD (Wb)	Volume (Vb)	Porositas	Porositas Rata-rata
		(gr)	(gr)	(cm^3)	(%)	(%)
0%	1	2808	2910	1570.796	6.49	6.88
	2	3061	3173	1570.796	7.13	
	3	3110	3220	1570.796	7.00	
5%	1	3005	3106	1570.796	6.43	6.77
	2	3028	3137	1570.796	6.94	
	3	3030	3139	1570.796	6.94	
7,5%	1	3038	3138	1570.796	6.37	6.05
	2	2977	3073	1570.796	6.11	
	3	2732	2821	1570.796	5.67	
10%	1	3100	3205	1570.796	6.68	6.30
	2	2795	2887	1570.796	5.86	
	3	3038	3138	1570.796	6.37	

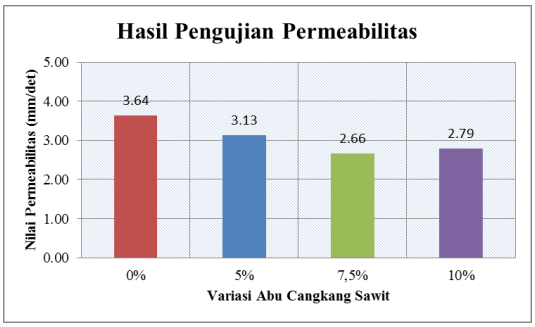
penjemuran dibawah sinar matahari yang digunakan kurang maksimal dalam menghilangkan air yang terdapat pada rongga *pervious concrete*.

Pengujian permeabilitas dilakukan untuk mengetahui angka permeabilitas pada *pervious concrete* dalam satuan mm/detik dengan menggunakan metode *falling head* karena memungkinkan beton untuk dilalui air. Pengujian permeabilitas *pervious concete* dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5. Pengujian permeabilitas *pervious concete*

Pengujian ini dilakukan dengan cara memasang beton pada pipa sebelah kanan yang memiliki diameter sebesar 111 mm (lihat Gambar 5), mengukur permukaan beton yang telah dipasang agar permukaan air pada pipa kiri sama tingginya dengan permukaan beton, kemudian memasang pipa diatas beton untuk diisi air melalui pipa kanan, lalu mengisi air hingga ketinggian air pada pipa kiri sama dengan pipa kanan, ketika ketinggian air pada keduanya sudah sama, lalu menutup pipa kiri untuk memulai pengukuran tinggi air dari atas beton yang telah dipasang pipa. Kemudian mengukur tinggi awal dan tinggi air akhir. Selisih tinggi air awal dan akhir dibuat batasan sejauh 300 mm. Kemudian isi air sampai pada tinggi yang ditentukan, lalu membuka penutup pipa kiri bersamaan dengan mengukur waktu penurunan air sejauh 300 mm menggunakan stopwatch.

Data yang diperoleh dari pengujian ini yaitu diameter sampel, tinggi sampel, tinggi air awal, tinggi air akhir, dan waktu penurunan. Sehingga dapat diperoleh nilai permeabilitas pada Tabel 11.



Gambar 6. Hubungan variasi abu cangkang sawit dan nilai permeabilitas

Hasil pengujian permeabilitas *pervious concrete* menggunakan abu cangkang sawit yang disajikan pada Tabel 11 dan Gambar 6 dapat diketahui bahwa nilai permeabilitas rata-rata *pervious concrete* terendah terjadi pada kadar abu cangkang sawit 7,5% yaitu 2,66 mm/det. Sama halnya seperti porositas *pervious concrete*, semakin rendahnya nilai permeabilitas beton menunjukkan bahwa beton tersebut semakin impermeable sehingga sulit dilewati oleh gas atau cairan. Beton yang padat dan sulit dilewati oleh gas maupun cairan membuat durabilitas beton semakin baik.

Hubungan antara kuat tekan, porositas dan permeabilitas merupakan tujuan dari penelitian ini dibuat untuk mendapatkan kadar Abu Cangkang Sawit yang akan dipakai untuk mencapai hasil yang optimum. Hasil pengujian kuat tekan, porositas dan permeabilitas pada

Tabel 11. Hasil pengujian permeabilitas *pervious concrete* dengan variasi abu cangkang sawit

Variasi ACS	No. Sampel	A1	A2	*l*	*t*	*h1*	*h2*	*K*	Rata-rata
		mm	mm	mm	detik	mm	mm	mm/det	mm/det
0%	1	111	112	200	22.89	500	200	3.45	3.64
	2	111	112	200	21.5	500	200	3.67	
	3	111	112	200	20.7	500	200	3.81	
5%	1	111	112	200	26.18	500	200	3.01	3.13
	2	111	112	200	25.1	500	200	3.14	
	3	111	112	200	24.36	500	200	3.24	
7,5%	1	111	112	200	29.71	500	200	2.65	2.66
	2	111	112	200	28.92	500	200	2.73	
	3	111	112	200	30.23	500	200	2.61	
10%	1	111	112	200	28.39	500	200	2.78	2.79
	2	111	112	200	27.56	500	200	2.86	
	3	111	112	200	28.83	500	200	2.74	

umur beton 28 hari dapat dilihat pada Tabel 12 dan Tabel 13.

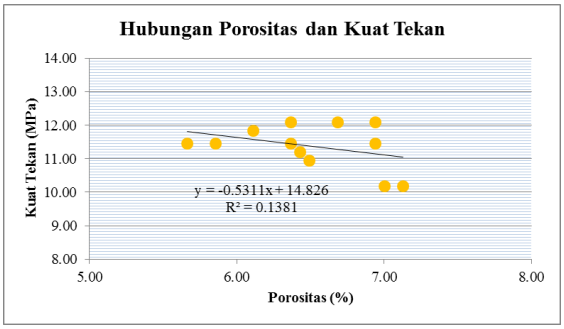
Tabel 12. Hasil pengujian kuat tekan dan porositas *pervious concrete* pada umur 28 hari.

Variasi ACS	No. Sampel	Kuat Tekan	Porositas
		MPa	%
0%	1	10.95	6.49
	2	10.19	7.13
	3	10.19	7.00
5%	1	11.20	6.43
	2	11.46	6.94
	3	12.10	6.94
7,5%	1	12.10	6.37
	2	11.84	6.11
	3	11.46	5.67
10%	1	12.10	6.68
	2	11.46	5.86
	3	11.46	6.37

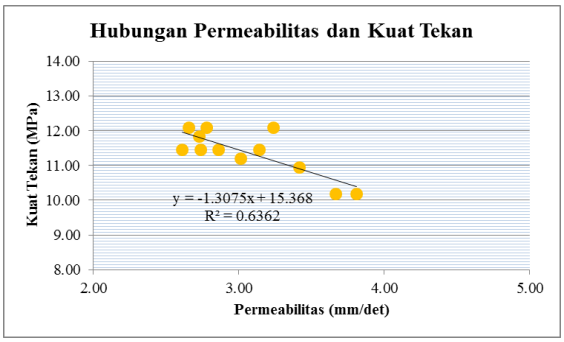
Tabel 13. Hasil pengujian kuat tekan dan permeabilitas pervious concrete pada umur 28 hari.

Variasi ACS	No. Sampel	Kuat Tekan	Permeabilitas
		MPa	mm/det
0%	1	10.95	3.42
	2	10.19	3.67
	3	10.19	3.81
5%	1	11.20	3.01
	2	11.46	3.14
	3	12.10	3.24
7,5%	1	12.10	2.65
	2	11.84	2.73
	3	11.46	2.61
10%	1	12.10	2.78
	2	11.46	2.86
	3	11.46	2.74

Berdasarkan Tabel 12 dan Tabel 13 dapat dilihat bahwa pada variasi abu cangkang sawit 7,5% dengan nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada sampel 1 yaitu 12.10 MPa, dimana nilai porositas relatif kecil yaitu 6,37% dan nilai permeabilitas yaitu 2.65 mm/det. Begitu pula pada variasi abu cangkang sawit 0% dengan nilai kuat tekan terendah terdapat pada sampel 3 yaitu 10.19 MPa, dimana nilai porositas relatif besar yaitu 7,00% dan nilai permeabilitas yaitu 3,81 mm/det. Kuat tekan *pervious concrete* berbanding terbalik terhadap nilai porositas dan permeabilitas. Hal ini sangat memungkinkan karena pada kondisi pori-pori yang besar, gesekan antar agregat juga akan semakin besar dan ikatan antar agregat yang lemah, maka dari itu kuat tekan pada kondisi ini mengalami penurunan. Hubungan antara nilai porositas, permeabilitas dan kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Hubungan porositas dan kuat tekan



Gambar 8. Hubungan permeabilitas dan kuat tekan

Hubungan antara kuat tekan dan porositas menghasilkan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,138 artinya kemampuan porositas dalam mempengaruhi nilai kuat tekan sebesar 13,8% atau masih terdapat sekitar 86,2% variabel terikat yang dipengaruhi oleh faktor lain. Hubungan antara kuat tekan dan permeabilitas menghasilkan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,636 artinya kemampuan permeabilitas dalam mempengaruhi nilai kuat tekan sebesar 63,6% atau masih terdapat sekitar 36,4% variabel terikat yang dipengaruhi oleh faktor lain. Nilai koefisien determinasi (R^2) yang kurang baik disebabkan karena benda uji yang digunakan untuk pengujian porositas dan permeabilitas bukan benda uji yang sama dengan benda uji pengujian kuat tekan sehingga kemungkinan ada data yang jauh berbeda dari data lainnya yang disebut sebagai outlier yang mengakibatkan hubungan antara kuat tekan, porositas dan permeabilitas kurang baik. Berdasarkan persamaan pada Gambar 7 dan Gambar 8 dapat disimpulkan bahwa semakin

besar nilai porositas, maka semakin kecil nilai kuat tekan *pervious concrete* dan semakin besar nilai permeabilitas nilai kuat tekan juga semakin menurun.

KESIMPULAN

Penambahan abu cangkang sawit pada campuran *pervious concrete* dapat mempengaruhi nilai kuat tekan beton pada umur 14 hari, 28 hari dan 56 hari, dimana semakin lama umur beton maka semakin tinggi nilai kuat tekannya dan seiring penambahan kadar abu cangkang sawit menghasilkan nilai kuat tekan yang semakin meningkat, nilai porositas yang semakin rendah menunjukkan bahwa beton tersebut semakin padat dan memiliki durabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan porositas dengan kadar abu cangkang sawit yang lainnya, Sama halnya seperti porositas *pervious concrete*, semakin rendahnya nilai permeabilitas beton menunjukkan bahwa beton tersebut semakin impermeable sehingga sulit dilewati oleh gas atau cairan. Beton yang padat dan sulit dilewati oleh gas maupun cairan membuat durabilitas beton semakin baik.

Hasil pengujian menyatakan bahwa variasi optimum penambahan abu cangkang sawit adalah 7,5% dengan nilai kuat tekan karakteristik (*f'ck*) sebesar 11,991 MPa atau terjadi peningkatan sebesar 14,71% dari beton normal dengan nilai porositas 6,05% dan nilai permeabilitas 2,66 mm/det. Nilai permeabilitas tersebut memenuhi persyaratan *pervious concrete* yaitu antara 1,4 – 12,2 mm/det. Campuran *pervious concrete* dengan variasi abu cangkang sawit dapat diaplikasikan pada area pertamanan karena hasil kuat tekan yang dicapai masuk dalam persyaratan kuat tekan untuk aplikasi pada area pertamanan sesuai SNI 03-0961-1996 pada mutu D yaitu sebesar 10 MPa.

SARAN

Perlu diperhatikan dalam pengujian kuat tekan, porositas dan permeabilitas sebaiknya menggunakan benda uji yang pembuatannya bersamaan agar didapatkan hasil pengujian yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

[1] ACI 522R-10, "Report On Pervious Concrete," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA, 2010.

[2] Mandiri, Manual Pelatihan Teknologi Energi Terbarukan, Jakarta: DANIDA, 2012.

[3] M. M. Nusantara, "Provinsi Produsen Terbesar Sawit Nasional," 2017. [Online]. Available:

[4] W. Tangchirapat, C. Jaturapitakkul and P. Chindaprasirt, "Use of palm oil fuel ash as a supplementary cementitious material for producing high-strength concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 23, no. 7, pp. 2641-2646, 2009.

[5] N. Aprianto, B. Anif and Z. , Pengaruh Pencampuran Abu Cangkang Sawit Terhadap Kuat Tekan Beton, Padang: Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta, 2020.

[6] J. O. Simanjuntak, T. E. Saragih, P. Lumbangaol and S. P. Panjaitan, "Beton Bermutu dan Ramah Lingkungan Dengan Memanfaatkan Lumbah Abu Cangkang Sawit," *Jurnal Darma Agung*, vol. 28, no. 3, pp. 387-401, 2020.

[7] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 03-0691-1996 Bata Beton (Paving Block)," 1996.

[8] Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder yang Dicetak, 2011.

[9] L. H. Van Vlack, Elements of materials science and engineering, Massachusetts: Addison-Wesley, 1989.