

PENGARUH PENGGUNAAN *SILICA FUME* DAN *FLY ASH* SEBAGAI PENGGANTI SEMEN TERHADAP KEAUSAN BETON POROUS YANG MENGGUNAKAN *RCA (RECYCLED COARSE AGGREGATE)*

(The Effect of Silica Fume and Fly Ash as Cement Replacement on Pervious Concrete Abrasion Using Recycled Coarse Aggregate (RCA))

Desi Budiawati, Eva Arifi, Christin Remayanti Nainggolan

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia-Telp (0341) 566710. 587711

E-mail: budiawatidesi14@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan agregat daur ulang beton telah banyak dikembangkan, salah satunya untuk aplikasi perkerasan beton. Perkerasan jalan yang mudah rusak banyak disebabkan oleh limpasan air pada permukaan yang tidak dapat meresap ke dalam tanah, maka penggunaan beton porous diharapkan dapat menjadi solusi mengatasi masalah tersebut. Beton non pasir atau beton porous merupakan beton yang memiliki porositas tinggi sehingga dapat mengalirkan air ke dalam tanah. Pori-pori tersebut tersusun oleh agregat kasar dengan sedikit atau tanpa agregat halus sebagai bahan penyusun beton. Hal ini menyebabkan kekuatan pada beton porous sangat tergantung pada kualitas agregat dan ikatan antar agregat yang berupa pasta. Penelitian ini menggunakan campuran semen dengan substitusi variasi *fly ash* 0%, 10%, 25% dan *silica fume* 0%, 7% terhadap semen. Penggunaan *fly ash* dan *silica fume* diharapkan dapat memperbaiki ikatan antar agregat terutama jika menggunakan RCA. Variasi RCA yang digunakan yaitu 0%, 50% dan 100%. Agregat yang digunakan seragam yaitu 1-2cm dan w/c sebesar 0,3. Uji daya tahan aus dilakukan pada umur 28 hari menggunakan mesin *loss angeles abrasion test* dengan metode cantabro test yaitu tanpa menggunakan bola-bola baja. Sampel yang digunakan silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 10 cm.

Berdasarkan hasil pengujian, daya tahan aus optimum didapatkan dari campuran 25% FA dengan komposisi RCA 0%, 50%, dan 100% berturut-turut secara signifikan dapat mengurangi persentase nilai *Cantabro Loss* sebesar 47,24%; 54,37%; dan 51,37%. Serta secara keseluruhan penambahan *fly ash* dan *silica fume* dapat meningkatkan daya tahan aus. Sedangkan penambahan RCA menghasilkan daya tahan abrasi yang beragam pada setiap variasi substitusi semen.

Kata kunci: Beton porous, RCA, *fly ash*, *silica fume*, keausan.

ABSTRACT

Utilization of recycled concrete aggregate has been widely developed and concrete pavement is one of its application. Road pavement that easily broken is caused by surface runoff since it can not be absorbed by soil, therefore pervious concrete is a solution of this problem. Pervious concrete is a high porosity concrete that could absorb water into the soil through its pores. Pores of its concrete created by coarse aggregate with small amount of or without fine aggregate. This causes pervious concrete strength depend on aggregate quality and bonding between aggregate which form cement paste. That is why this research use variation of substance mix of 0%, 10%, 25% fly ash and 0%, 7% silica fume to cement substitute. These substances is expected to repair bonding of aggregate especially when using RCA. The RCA variations used in this experiment are 0%, 50%, and 100%. The aggregate used is uniform graded which 1-2 cm and 0,3 of w/c. The abrasion test was conducted at age 28th day by using Los Angeles abrasion machine test with Cantabro Loss method. Samples used in the experiment was cylinder with 15cm in diameter and 10cm on its high.

Based on the test results, the optimum abrasion durability obtained from variation of FA 25% with composition of RCA 0%,50%, and 100% significantly reduce the value of Cantabro Loss Percentage 47,24%; 54,37%; and 51,37% respectively. In confirmed that the addition of fly ash and silica fume can increase abrasion durability. While the addition of RCA resulted varying abrasion durability depend on cement substitution variation.

Keywords: pervious concrete, RCA, *fly ash*, *silica fume*, abrasion

PENDAHULUAN

Kegiatan konstruksi memberikan sumbangsih yang cukup besar bagi pencemaran lingkungan menurut *HH Lau & A. Whyte* (2007) karena tingginya jumlah limbah yang dihasilkan konstruksi, renovasi, pembongkaran dan kegiatan yang terkait dengan konstruksi seperti limbah beton yang menumpuk.

Beton sebagai bahan perkerasan jalan tentunya dapat membuat semakin meningkatnya luas daerah serapan yang ditutupi oleh perkerasan sehingga dapat mengakibatkan waktu berkumpulnya air menjadi jauh lebih pendek. Hal ini mengakibatkan akumulasi air hujan yang terkumpul melampaui kapasitas drainase yang ada dan terjadi genangan pada jalan. Genangan inilah yang menyebabkan jalanan mengalami kerusakan seperti berlubang. Salah satu solusi untuk permasalahan tersebut adalah menggunakan beton berpori dengan agregat kasarnya berupa beton daur ulang atau *Recycled Coarse Aggregate (RCA)*. Beton berpori yang biasa disebut sebagai Beton Porous dapat menjadi salah satu solusi dalam konstruksi perkerasan ramah lingkungan yang dapat mengurangi limpasan air permukaan serta dapat meningkatkan kandungan air dalam tanah.

Kekuatan beton pori yang terdiri dari agregat kasar, semen dan air ini sangat tergantung pada lekatan mortar antar agregatnya, karena tidak adanya pasir sebagai pengisi rongga pada beton. Oleh sebab itu, penambahan *admixture* pada beton diharapkan dapat menambah kuat tekan beton dan mengurangi abrasi perkerasan. Beberapa *admixture* yang dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan pasta semen pada beton pori yaitu *fly ash* dan *silica fume*.

Penggunaan *fly ash* dan *Silica fume* sebagai pengganti semen perlu dikaji lebih lanjut pada aplikasi beton porous terutama penerapan pada struktur perkerasan jalan karena sifatnya yang memiliki porositas tinggi dibandingkan dengan beton pada umumnya dapat memberikan keuntungan berupa permeabilitas yang baik untuk mengalirkan air ke dalam tanah. Abrasi yang terjadi pada beton porous disebabkan oleh memecahnya atau melepasnya agregat permukaan akibat tergerus oleh ban kendaraan yang bergerak. Maka perlu dilakukan pengujian terhadap abrasi. Oleh karena itu dilakukan penelitian berjudul “Pengaruh Penggunaan *Silica Fume* dan *Fly Ash* sebagai Pengganti Semen terhadap Keausan Beton Porous yang Menggunakan *RCA (Recycled Coarse Aggregate)*”

TUJUAN

1. Menentukan hubungan antara penggunaan agregat kasar daur ulang (RCA) sebesar 0%, 50% dan 100% terhadap ketahanan abrasi beton porous.
2. Menentukan pengaruh *Fly Ash* dengan persentase 0%, 10% dan 25% terhadap abrasi beton porous
3. Menentukan pengaruh *Silica Fume* dengan persentase 0% dan 7% terhadap abrasi beton porous
4. Menentukan pengaruh campuran *Fly Ash* (0%, 10% dan 25%) dengan *Silica Fume* (0% dan 7%) terhadap abrasi beton porous.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton Porous

Menurut ACI 522R-10, *Pervious Concrete* atau Beton Porous adalah beton yang terbentuk dari semen *Portland*, agregat kasar, sedikit agregat halus atau tidak sama sekali, campuran tambahan (*admixture*), dan air. Beton memiliki porositas tinggi yaitu sebesar 15%-25% dari total volumenya, sehingga memiliki kuat tekan yang lebih rendah dari pada jenis beton padat pada umumnya. Kuat tekan beton porous pada umumnya berkisar antara 2,8 MPa sampai 28 MPa. *Mix design* beton *porous* terdiri dari : semen (270-415 kg), agregat kasar (1190-1480 kg), faktor air semen (0,27-0,34), perbandingan berat pasir dan kerikil sebesar 0 sampai 1 : 1 serta penambahan *chemical admixtures*.



Gambar 1. *Pervious Concrete.*

Sumber: www.washingtonconcrete.org

Fly Ash (Abu Terbang)

Menurut SNI 06-6867-2002 tentang spesifikasi abu terbang dan pozolan, bahwa abu terbang (*fly ash*) adalah sisa hasil pembakaran serbuk batu bara dari tungku pembangkit tenaga uap yang terbawa gas buangan cerobong asap. Menurut *ACI Committee 226*, dijelaskan bahwa *fly ash* memiliki butiran sangat halus yaitu lolos ayakan No. 325 (45 milimicron) 5-27% umumnya berbentuk bola padat atau berongga dengan densitas 2,23 gr/cm³ dan kadar air sekitar 4%. *Fly ash* memiliki *specific gravity* antara 2,15-2,6 dan berwarna abu kehitaman. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran bituminous

lebih kecil dari 0,075 mm. Berdasarkan Michael T. (2007), dampak positif *fly ash* dapat mengurangi pemakaian air pada campuran beton dengan kondisi workabilitas yang sama dengan penggunaan semen PC serta meningkatkan kuat tekan beton.

Silica Fume

Silica fume adalah hasil produksi sampingan dari pemurnian silika dengan batu bara di tanur listrik tinggi dalam pembuatan campuran silikon atau ferro silikon (ACI 234R-96). *Silica fume* mengandung kadar SiO₂ yang tinggi dan merupakan bahan yang sangat halus, bentuk bulat dan berdiameter yang sangat kecil sekali yaitu 1/100 kali diameter semen (ACI, Committee, 1986 dan Modul Silica). *Silica fume* dalam jumlah tertentu dapat menggantikan jumlah semen, selain itu karena *silica fume* mempunyai diameter sangat kecil, maka *silica fume* dapat juga berperan sebagai pengisi diantara partikel-partikel semen.

Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

RCA diproduksi dengan cara menghancurkan puing-puing beton yang merupakan limbah sisa konstruksi beton menjadi agregat daur ulang. Aplikasi RCA ini terbatas sebagai bahan struktural sehingga dapat diaplikasikan pada tujuan non struktural seperti jalan beton, campuran selokan, jalan bahan dasar kasar, paving blok, penimbunan dan blok bangunan (*Portland Cement Association*, 2007). Sedangkan menurut Kong (2010), RCA mengandung 65% - 70% agregat alami (kasar dan halus) dan 30% - 35% pasta semen dari volume beton itu sendiri. Karena variasi yang tinggi inilah, agregat yang dihasilkan tidak seragam, memiliki pori lebih banyak dan kurang padat dibandingkan agregat alam konvensional.

Keausan Beton Porous

Aus beton porous disebabkan oleh memecahnya atau melepasnya agregat permukaan akibat tergerus oleh ban kendaraan yang bergerak. Berdasarkan ASTM C-131, pengujian abrasi pada beton berpori dapat dilakukan dengan menggunakan mesin Los Angeles (*Los Angeles abrasion machine*) tanpa menggunakan bola baja yang disebut sebagai *Cantabro Abrasion Test* dengan kecepatan putaran sebesar 30 rpm.

Benda uji ditimbang setiap 50 putaran hingga mencapai 300 putaran sebagai parameter abrasi. Kehilangan berat dari benda uji sebelum dan sesudah diuji digunakan untuk menentukan karakteristik

ketahanan abrasi dari PCPC (*Portland Cement Pervious Concrete*).

$$CL = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

Dengan keterangan:

CL = *Cantabro Loss* (%)

A = Berat mula-mula benda uji (gram)

B = Berat benda uji setelah diuji (gram)

METODE PENELITIAN

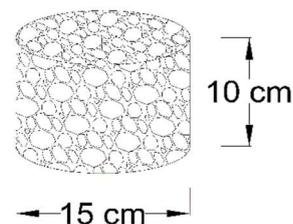
Penelitian ini menggunakan variable, dengan rincian sebagai berikut:

- Variabel bebas yaitu
 1. Variasi *RCA* (0%, 50%, dan 100%);
 2. Variasi *Fly ash* (0%, 10% dan 25%);
 3. Variasi *Silica Fume* (0% dan 7%)
- Variabel terikat yaitu nilai kehilangan abrasi, permeabilitas dan void ratio beton *porous*.
- Variabel kontrol yaitu nilai kehilangan abrasi dan permeabilitas beton *porous*.
 1. Agregat kasar yang digunakan adalah lolos ayakan 3/4 in dan tertahan ayakan 3/8
 2. FAS yang digunakan sebesar 0,3.

Penelitian juga dilakukan uji pendahuluan untuk mengetahui karakteristik bahan meliputi analisa bahan agregat kasar antara lain *density*, *berat jenis*, dan *absorbs* serta uji kandungan *fly ash*.

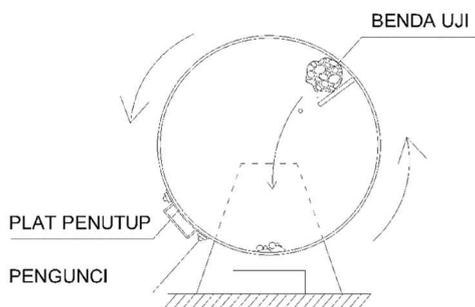
Tabel 1. Variasi Penelitian

RCA	<i>fly ash</i> (FA)	<i>silica fume</i> (SF)	Kode mix
0% (R0)	0% (F0)	0% (S0)	R0F0S0
	10% (F1)		R0F1S0
	25% (F2)		R0F2S0
	0% (F0)		R0F0S1
	10% (F1)		R0F1S1
	25% (F2)		R0F2S1
50% (R1)	0% (F0)	0% (S0)	R1F0S0
	10% (F1)		R1F1S0
	25% (F2)		R0F2S0
	0% (F0)		R1F0S1
	10% (F1)		R1F1S1
	25% (F2)		R0F2S1
100% (R2)	0% (F0)	0% (S0)	R2F0S0
	10% (F1)		R2F1S0
	25% (F2)		R0F2S0
	0% (F0)		R2F0S1
	10% (F1)		R2F1S1
	25% (F2)		R0F2S1

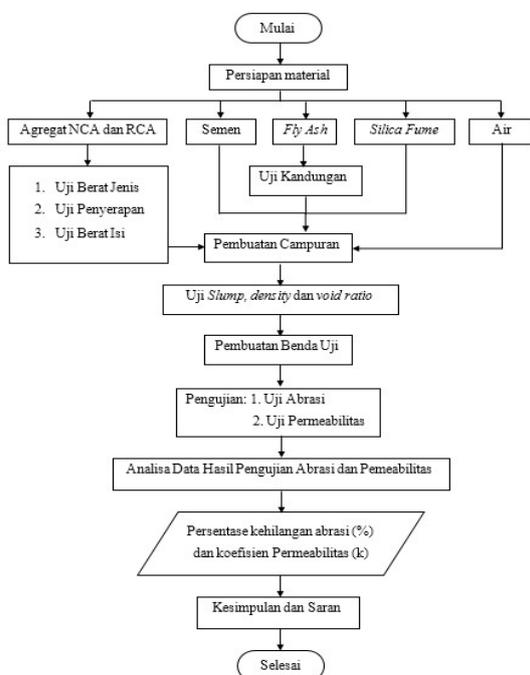


Gambar 2. Dimensi Benda Uji Keausan.

Pelaksanaan uji abrasi menggunakan alat *Los Angeles Abrasion Test* saat umur beton mencapai 28 hari. Sedangkan bahan campuran *fly ash* digunakan tipe C dan *silica fume* menggunakan SikaFume produksi PT. Sika Indonesia. Perhitungan mix desain menggunakan metode perbandingan volume beton, serta perbandingan A/C yaitu 4:1 (NRCMA)



Gambar 3. Pengujian Keausan Beton *Porous*.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian Beton *Porous*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berat Isi RCA dan NCA

Berdasarkan pemeriksaan berat isi agregat NCA lebih besar daripada RCA. Nilai berat isi rata-rata NCA sebesar $1,537 \text{ gr/cm}^3$ sedangkan berat isi rata-rata RCA sebesar $1,384 \text{ gr/cm}^3$. Hal ini menunjukkan bahwa NCA memiliki butiran lebih padat dibandingkan RCA. Hal ini sesuai dengan kondisi fisik NCA yang merupakan batuan pecah alam sedangkan RCA merupakan hasil daur ulang beton. RCA mengandung mortar dan terdapat pula butiran yang terbentuk dari mortar seluruhnya.

Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Nilai berat jenis yang digunakan adalah berat jenis kering permukaan jenuh. Hasil pengujian berat jenis pada RCA rata-rata sebesar 2,471 dan NCA sebesar 2,655. Keduanya memenuhi syarat sebagai agregat yaitu berkisar antara 2,4 – 2,9. Penyerapan RCA sebesar 3,394% dan NCA sebesar 1,573% maka keduanya memenuhi syarat absorpsi $\text{NCA} < \text{RCA}$.

Uji Keleccakan

Berdasarkan pemeriksaan diperoleh nilai slump dari setiap pembuatan campuran beton. Nilai slump terbesar pada pengujian ini sebesar 19 cm dan yang terendah sebesar 6,5 cm. Semakin besar nilai slump, maka semakin mudah pengerjaannya, dan semakin kecil nilai slump, maka kemudahan pekerjaan (*workability*) semakin rendah.

Analisa Hasil Uji *Density* dan *Void Ratio*

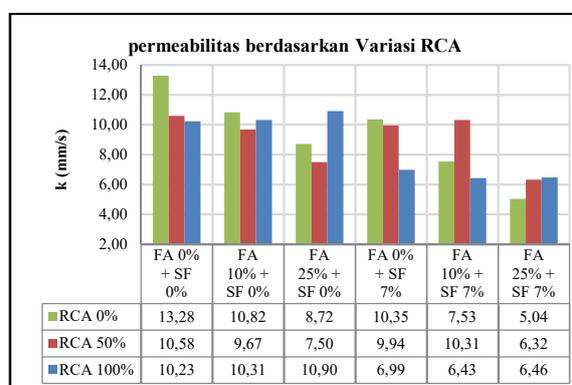
Tabel 2. Hasil Uji *Density* dan *Void Ratio*

NO	Kode Mix desain	<i>Density</i>	<i>Theoretical Density</i>	<i>Void Ratio</i>
		(D) kg/m^3	(T) kg/m^3	(U)%
1	R0 F0S0	1571,82	2529,07	37,85
2	R0 F1S0	1562,24	2519,98	38,01
3	R0 F2S0	1686,84	2506,76	32,71
4	R0 F0S1	1571,82	2518,82	37,60
5	R0 F1S1	1590,99	2509,89	36,61
6	R0 F2S1	1696,42	2496,89	32,06
7	R1 F0S0	1533,49	2443,47	37,24
8	R1 F1S0	1498,98	2435,37	38,45
9	R1 F2S0	1571,82	2423,60	35,14
10	R1 F0S1	1485,57	2433,48	38,95
11	R1 F1S1	1533,49	2425,54	36,78
12	R1 F2S1	1581,41	2413,98	34,49
13	R2 F0S0	1495,15	2356,85	36,56
14	R2 F1S0	1495,15	2349,78	36,37
15	R2 F2S0	1495,15	2339,48	36,09
16	R2 F0S1	1437,64	2347,14	38,75
17	R2 F1S1	1543,07	2340,21	34,06
18	R2 F2S1	1629,33	2330,12	30,08

Hasil pengujian berat volume beton segar secara keseluruhan menunjukkan bahwa pada RCA 0% dengan campuran semen berupa *Fly Ash* 25% dan *Silica Fume* 7% (R0F2S1) memiliki berat volume yang paling besar yaitu $1696,42 \text{ kg/m}^3$. Sedangkan berat volume beton segar yang paling kecil ditunjukkan pada campuran RCA 100% dengan komposisi semen berupa *Fly Ash* 0% dan *Silica Fume* 7% (R2F0S1) yaitu $1437,64 \text{ kg/m}^3$. Hasil pengujian *void ratio* menunjukkan bahwa pada RCA 100% dengan campuran semen berupa *Fly Ash* 0% dan

Silica Fume 7% (R2F0S1) memiliki nilai *void ratio* yang paling besar yaitu 38,75%. Sedangkan nilai *void ratio* yang paling kecil ditunjukkan pada campuran RCA 100% dengan campuran semen berupa *Fly Ash* 25% dan *Silica Fume* 7% (R2F2S1) yaitu 30,08 %.

Analisa Hasil Permeabilitas Beton Porous



Gambar 5. Diagram Permeabilitas Beton Porous.

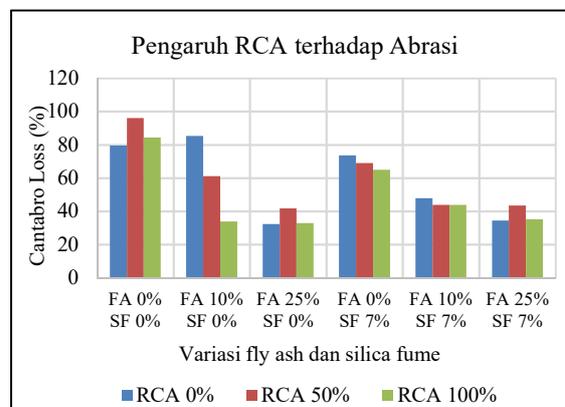
Pada gambar 5 menunjukkan bahwa campuran yang paling *permeable* merupakan beton dengan komposisi campuran semen tanpa menggunakan *fly ash* dan *silica fume* yaitu rata-rata sebesar 13,28 mm/detik pada RCA 0%; 10,58 mm/detik pada RCA 50%; dan 10,23 mm/detik pada RCA 100%. Sedangkan pada beton yang paling tidak *permeable* pada beton dengan komposisi campuran semen menggunakan 25% *fly ash* dan 7% *silica fume* yaitu rata-rata sebesar 5,04 mm/detik pada RCA 0%; 6,32 mm/detik pada RCA 50%; dan 6,46 mm/detik pada RCA 100%. Hal ini terjadi karena pada beton normal memiliki angka persentase pori yang besar sehingga air cepat melewati beton. Sedangkan permeabilitas yang kecil disebabkan karena angka persentase pori pada variasi ini relatif kecil daripada yang lain.

Analisa Hasil Uji Keausan Beton Porous

Tabel 7. Hasil Rekapitan Uji Aus

No	Kode mix desain	Nilai % CL 300 putaran	Standar ASTM C-33 keausan maks 50%
1	R0F0S0	79,61	Tidak memenuhi
2	R0F1S0	85,37	Tidak memenuhi
3	R0F2S0	32,37	Memenuhi
4	R0F0S1	73,67	Tidak memenuhi
5	R0F1S1	47,82	Memenuhi
6	R0F2S1	34,53	Memenuhi
7	R1F0S0	96,04	Tidak memenuhi
8	R1F1S0	61,20	Tidak memenuhi
9	R1F2S0	41,67	Memenuhi
10	R1F0S1	69,02	Tidak memenuhi
11	R1F1S1	43,79	Memenuhi
12	R1F2S1	43,40	Memenuhi

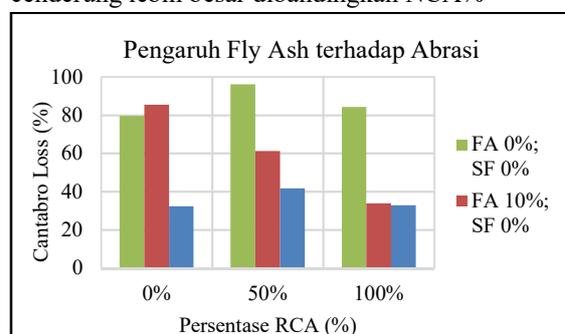
13	R2F0S0	84,30	Tidak memenuhi
14	R2F1S0	33,95	Memenuhi
15	R2F2S0	32,93	Memenuhi
16	R2F0S1	65,01	Tidak memenuhi
17	R2F1S1	43,87	Memenuhi
18	R2F2S1	35,30	Memenuhi



Gambar 6. Diagram Pengaruh RCA terhadap Aus

Grafik pada gambar 6 dapat terlihat bahwa terjadi kenaikan angka abrasi CL (%) pada campuran RCA 50% untuk beberapa campuran beton dengan komposisi semen yaitu FA 0%, SF 0% (R1F0S0); FA 10%, SF 7% (R1F1S1) dan FA 25%, SF 7% (R1F2S1). Ketiga campuran tersebut mengalami kenaikan yang hampir serupa dengan menggunakan agregat RCA 50% dibandingkan dengan RCA 0% dan RCA 100%.

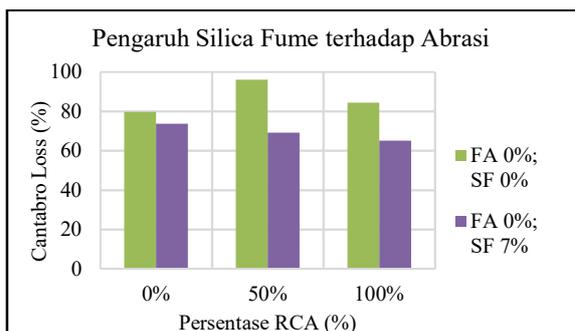
Sedangkan campuran FA 10%, SF 0% mengalami penurunan nilai abrasi yang signifikan seiring dengan penambahan kadar RCA. Berbeda dengan campuran FA 25%, SF 0% dan campuran FA 0%, SF 7% yang mengalami penurunan nilai abrasi cukup stabil seiring dengan pertambahan kadar RCA. Penggunaan RCA dapat mempengaruhi nilai abrasi terutama pada persentase RCA 50% dan 100% yang cenderung lebih besar dibandingkan NCA%



Gambar 7. Diagram Pengaruh Fly Ash terhadap Aus

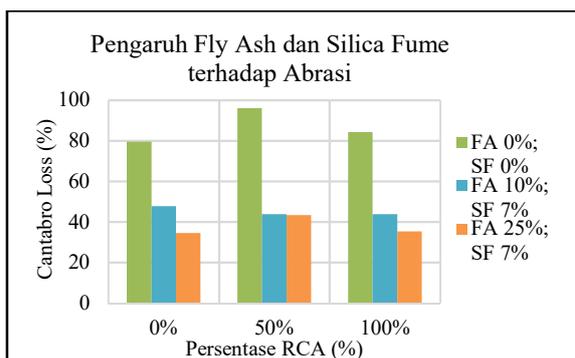
Grafik menunjukkan bahwa pada RCA 0%, penggunaan *fly ash* 10% menurunkan daya tahan abrasi dibandingkan *fly ash* 0% yang ditunjukkan oleh meningkatnya nilai CL pada campuran RCA 0%,

FA 10%, SF 0% (R0F1S0). Namun pada *fly ash* 25%, campuran RCA 0% dapat meningkatkan daya tahan abrasi lebih baik. (R0F2S0). Sementara itu, pada RCA 50% dan RCA 100%, penggunaan *fly ash* dapat meningkatkan daya tahan aus terutama pada campuran *fly ash* 25% yang ditunjukkan pada nilai CL sebesar 32%. Hal ini menunjukkan penggunaan *fly ash* 25% adalah kadar penggunaan *fly ash* yang optimum digunakan pada beton porous yang menggunakan RCA 100%



Gambar 8. Diagram Pengaruh *Silica* terhadap Aus

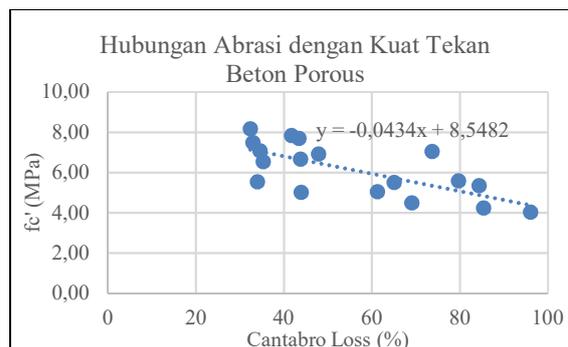
Grafik menunjukkan bahwa pada seluruh varian campuran RCA, penggunaan *silica fume* 7% dapat mengurangi kehilangan abrasi. Pada campuran RCA 50% dan RCA 100%, menunjukkan penurunan yang hampir sama. Sementara pada campuran RCA 0% penggunaan *silica fume* 7% tidak banyak berkurang dari SF 0% ke SF 7%. Maka, penggunaan *silica fume* dapat dikatakan memperkuat ikatan agregat pada beton porous sehingga kekuatan dan daya tahan abrasinya meningkat.



Gambar 9. Diagram Pengaruh *FA+SF* terhadap Aus

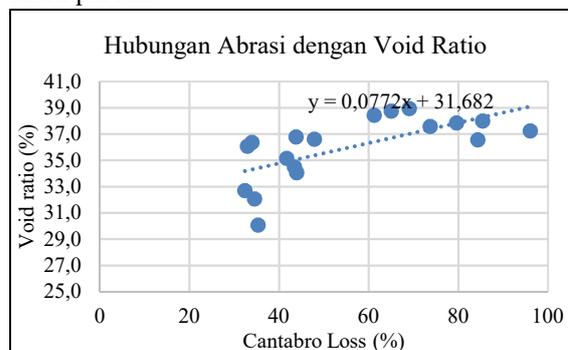
Grafik menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* dan *silica fume* pada setiap variasi campuran RCA, menunjukkan penurunan yang hampir sama ketika ditambahkan *fly ash* 10%, *silica* 7% dan *fly ash* 25%, *silica* 7%. Data terkecil pada campuran ini adalah pada mix desain dengan campuran *fly ash* 25% dan *silica fume* 7% menggunakan agregat RCA 0% yaitu sebesar 34,53%. Maka penggunaan campuran *fly ash*

dan *silica fume* dapat meningkatkan kekuatan beton porous.

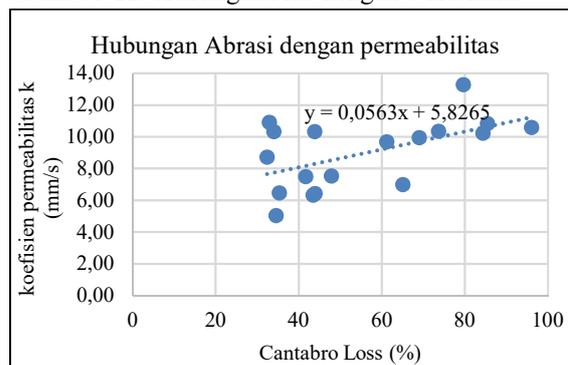


Gambar 10. Hubungan Kuat Tekan dengan Aus

Berdasarkan Gambar 10 dapat dilihat bahwa apabila nilai kehilangan abrasi/keausan semakin besar maka akan semakin kecil kuat tekan yang terjadi. Hal ini menunjukkan daya tahan abrasi akan meningkat seiring dengan meningkatnya kekuatan beton porous.



Gambar 11. Hubungan Aus dengan Void Ratio



Gambar 12. Hubungan Aus dengan Permeabilitas

Berdasarkan Gambar di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar *void ratio*, maka semakin besar nilai kehilangan keausan beton porous dan semakin besar permeabilitas maka nilai kehilangan abrasi juga semakin besar seperti pada gambar. Hal ini terjadi bahwa beton porous yang memiliki persentase rongga yang besar menyebabkan aliran air yang dilalui akan semakin cepat merembes ke dalam tanah.

Analisa Statistik SPSS 23

Tabel 8. Hasil Anova pengaruh RCA terhadap CL

	F	Sig.
Between Groups	.400	.677
Within Groups		
Total		

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa RCA secara keseluruhan memiliki nilai signifikansi sebesar 0,677 yaitu lebih besar dari nilai 0,05 dan maka RCA memberikan hasil tidak signifikan. Serta nilai $F_{hitung} (0,400) < F_{tabel} (3,68)$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak. Sehingga pengaruh RCA tidak memberikan hasil signifikan.

Tabel 9. Hasil Anova pengaruh FA 10% terhadap CL

	F	Sig.
Between Groups	.184	.673
Within Groups		
Total		

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa *Fly Ash* 10% menunjukkan perhitungan $F_{hitung} (0,184) < F_{tabel} (4,49)$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak. Serta nilai sig. 0,673 lebih besar daripada 0,005 Sehingga *Fly Ash* tidak memberikan hasil yang signifikan terhadap nilai CL.

Tabel 10. Hasil Anova pengaruh FA25% thd. CL

	F	Sig.
Between Groups	12.083	.003
Within Groups		
Total		

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa *Fly Ash* 25% menunjukkan perhitungan $F_{hitung} (12,083) > F_{tabel} (4,49)$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Serta nilai sig. 0,003 < 0,005 Sehingga *Fly Ash* memberikan hasil signifikan terhadap nilai CL.

Tabel 11. Hasil Anova pengaruh Silica 7% thd. CL

	F	Sig.
Between Groups	1.031	.325
Within Groups		
Total		

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa SF 7% memiliki nilai signifikansi sebesar 0,325 > 0,05. Serta nilai $F_{hitung} (1,031) < F_{tabel} (4,49)$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak. Sehingga pengaruh SF 7% tidak memberikan hasil signifikan

Tabel 12. Hasil Anova pengaruh SF+FA thd. CL

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 SFFA0 & ABRASI0	6	.962	.002
Pair 2 SFFA5 & ABRASI5	6	.838	.037
Pair 3 SFFA10 & ABRASI10	6	.939	.005

- kelompok 1 adalah pengaruh Variasi Campuran FA+SF terhadap abrasi pada RCA 0%
- kelompok 2 adalah pengaruh Variasi Campuran FA+SF terhadap abrasi pada RCA 50%
- kelompok 3 adalah pengaruh Variasi Campuran FA+SF terhadap abrasi pada RCA 100%

Kriteria korelasi yang mendekati nilai 1 menunjukkan korelasi yang kuat. Data di atas menunjukkan pada RCA 0% dan 100%, campuran FA+SF memberikan pengaruh signifikan terhadap abrasi dan menunjukkan nilai yang paling mendekati 1 sehingga dapat disimpulkan bahwa campuran tersebut menambah nilai kekuatan pada beton porous.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan uji statistik hipotesis menggunakan *software SPSS 23 for windows* pada penelitian pengaruh penggunaan *fly ash* dan *silica fume* terhadap abrasi perkerasan beton porous dengan variasi *Recycled Coarse Aggregate* (RCA) dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Agregat kasar daur ulang (RCA) memberikan pengaruh yang beragam terhadap keausan beton porous. Pada campuran beton FA 0% & SF 0%, beton FA 25% & SF 0% dan beton FA 25% & SF 7%, penggunaan RCA 0% dan RCA 100% secara signifikan dapat meningkatkan daya tahan aus beton dibandingkan dengan RCA 50%. Hal ini dapat dikarenakan proses pemadatan yang menyebabkan RCA mudah hancur dan cenderung lebih mudah padat dibandingkan dengan NCA sehingga mortar lebih mudah mengikat agregat.
2. Penggunaan *fly ash* mempengaruhi abrasi beton porous pada setiap variasi RCA. *fly ash* 25% cenderung lebih stabil dan signifikan dapat mengurangi kehilangan abrasi sehingga dapat meningkatkan daya tahan abrasi. Penggunaan *fly ash* yang menghasilkan daya tahan aus optimum yaitu *fly ash* 25% yang menggunakan RCA 100%.
3. *Silica fume* 7% dapat meningkatkan daya tahan abrasi pada campuran yang menggunakan RCA 50% dan 100% saja. Sedangkan pada RCA 0% tidak menunjukkan peningkatana daya tahan yang signifikan. Penggunaan *silica fume* yang menghasilkan daya tahan aus optimum yaitu *silica fume* 7% yang menggunakan RCA 100%.
4. Campuran FA 10%+ SF 7% dan FA 25%+ SF 7% secara signifikan memberikan pengaruh dan dapat meningkatkan daya tahan abrasi pada campuran seluruh variasi RCA. Hal ini menunjukkan penggabungan di antara FA dan SF dapat

meningkatkan kekuatan beton porous. Daya tahan aus optimum didapatkan dari campuran FA 25%+SF 7% pada agregat RCA 100%.

5. Semakin tinggi kuat tekan maka akan semakin baik pula daya tahan abrasinya yang ditunjukkan pada berkurangnya nilai CL seiring dengan peningkatan nilai kuat tekan beton porous pada campuran *fly ash* dan *silica fume*.
6. Hubungan antara *void ratio* dan permeabilitas secara umum dapat dikatakan bahwa koefisien permeabilitas yang semakin besar maka *void rationya* besar. Hal ini terjadi bahwa beton porous yang memiliki persentase rongga yang besar menyebabkan aliran air yang dilalui akan semakin cepat merembes ke dalam tanah.

SARAN

Pada penelitian ini ditemukan beberapa kendala yang ditemukan baik dalam proses persiapan, pengecoran dan pengujian serta pengambilan data. Saran yang diberikan dalam rangka perbaikan untuk penelitian selanjutnya terait judul ini, antara lain:

1. Penggunaan *standard proctor* perlu diperhatikan baik-baik dalam kajian maupun pelaksanaannya, mengingat kesalahan dalam proses pemadatan akan berdampak pada hancurnya agregat yang digunakan sehingga dapat mengurangi kekuatan dan memungkinkan mengurangi porositas beton porous.
2. Pengujian Abrasi dengan metode *cantabro loss* memberikan hasil yang signifikan dengan total 300 putaran untuk masing-masing sampel. *Cantabro loss* membuat benda uji mengalami tumbukan dengan sedikit abrasi gesekan antara dinding *LA machine*. Penggunaan metode lain seperti *aspalt pavement analyzer* (APA) direkomendasikan untuk digunakan karena dapat memberika beban roda dan tekanan kontak pada benda uji sehingga lebih mendekati kondisi di lapangan.
3. Penggunaan jumlah sampel sebaiknya dilakukan penambahan, karena beberapa campuran menghasilkan keausan yang berbeda tiap sampelnya. Hal ini dapat dilakukan agar dapat menjaga keakuratan data yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, ASTM - 04.02, 1996, Concrete and Aggregates, Easton, USA.
 ACI Committee 234. 1995. Guide for Use of Silica Fume in Concrete. Vol 92, No. 4 ACI Materials Journal.

American Concrete Institute Committee 234. (1996). "Guide for the Use of Silica Fume in Concrete". Detroit : American Concrete Institute
 Arifi, Eva, Nur Cahya, Evi, dan Remayanti N, Christin. (2017). *Effect of Fly Ash on the Strength of porous Concrete using Recycled Coarse Aggregate to replace Low-Quality Natural Coarse Aggregate*. American Institute of Physics
 Agung, A. A. Gde. 2018, Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* dan *Silica Fume* terhadap Kuat Tekan Beton Porous yang Menggunakan RCA (*Recycled Coarse Aggregate*)
 Candra, Kartika. 2017, Pengaruh Komposisi *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan Beton *Porous* dengan Variasi Komposisi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)
 Dong, Qiao, dkk. 2013. *Investigation into Laboratory Abrasion Test Methods for Pervious Concrete*. Vol. 25, No. 7 Journal of Materials in Civil Engineering.
 H.H. Lau and A. Whyte. 2007. *A Construction Waste Study for Residential Projects in Miri, Sarawak*. Proceeding of the Conference on Sustainable Building South East Asia, 5-7 November 2007, Malaysia
 Kong, D., Lei, T., Zheng, J., Ma, C., Jiang, J., Jing, J. 2010 "Effect and mechanism of surface coating pozzolanic materials around aggregate on properties and ITZ microstructure of recycled aggregate concrete", *Construction and Building Materials*, Vol. 24, pp.701–708.
 Mauzudah, M. 2018, Pengaruh Ukuran Butir Agregat terhadap Abrasi Perkerasan Beton Porous dengan Variasi *Recycled Coarse Aggregate* (RCA)
 Ravindra Rajah, Sri. 2014. *Effect of Supplementary Cementitious Material on Properties of Pervious Concrete with Fixed Porosity*. University of Technology, Sydney
 SNI 06-6867-2002. *Spesifikasi Abu Terbang dan Pozolan Lainnya untuk Digunakan dengan Kapur*. Badan Standarisasi Nasional (BSN)
 Thomas, Michael. 2007. *Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete*. Washington DC: Portland Cement Association.
 Washington Aggregates and Concrete Association (WACA). *Pervious Concrete*. <http://www.washingtonconcrete.org/pervious-concrete> Diakses pada 28 Januari 2018 pukul 17.03 WIB.