

PENGARUH PENGGUNAAN SILICA FUME DAN FLY ASH SEBAGAI PENGGANTI SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON POROUS YANG MENGGUNAKAN RCA (RECYCLE COARSE AGGREGATE)

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

Anak Agung Gde Agung Oka Widyastana, Eva Arifi, Christin Remayanti N.
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia-Telp (0341) 566710. 587711
E-mail : agungwidyastana123@gmail.com

ABSTRAK

Untuk mengurangi potensi limbah konstruksi kita dapat mendaur ulang atau memanfaatkan lagi limbah beton sebagai agregat yang berbentuk RCA (*Recycled Coarse Aggregate*). RCA akan digunakan sebagai pengganti kerikil alam dalam proporsi beton porous, dan dengan sedikit atau tanpa menggunakan agregat halus dalam pembuatan beton porous. Inovasi penggunaan *Recycled Coarse Aggregates* (RCA) sebagai bahan campuran beton ditawarkan, namun nilai kuat tekan dari beton porous dengan adanya material pengganti semen yaitu *silica fume* dan *fly ash* perlu dikaji lebih banyak dimaksudkan untuk menjadi acuan dalam perencanaan dan pelaksanaan penggunaan bahan perkerasan jalan.

Pada pelaksanaan pengujian pendahuluan agregat meliputi, berat isi, berat jenis dan penyerapan agregat kasar. Untuk pengujian pada *beton porous* ada 1 yaitu pengujian kuat tekan. Pengujian tersebut untuk mengetahui nilai kuat tekan pada beton porous dengan variasi campuran yang menggunakan *fly ash*, *silica fume*, dan RCA dengan harapan dapat meningkatkan nilai kuat tekan dari beton porous. Proporsi antara semen, agregat, dan air yang digunakan yaitu 1 : 4 : 0,3. Metode pelaksanaan pembuatan beton porous dilakukan sama dengan beton biasa, namun untuk pemadatan menggunakan *proctor hammer standart* dan *curing* (perawatan) benda selama 7 hari, sesuai dengan pelaksanaan *curing* pada ACI 522-I-13.

Hasil dari pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa beton porous yang menggunakan *silica fume*, dan *fly ash* dapat meningkatkan bonding antar agregat dengan perbandingan penggunaan RCA 0%, 50%, dan 100% dengan perbandingan umur pengujian 28 hari dan 56 hari. Pada umur pengujian 28 hari mencapai nilai maksimumnya pada persentase penggunaan campuran RCA 0%, FA 25%, dan SF 0% yaitu dengan nilai sebesar 8,179 MPa, sedangkan pada umur pengujian 56 hari mencapai nilai maksimumnya pada persentase penggunaan campuran RCA 50%, FA 25%, dan SF 7% yaitu dengan nilai sebesar 10,631 MPa.

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

ABSTRACT

To reduce the potential waste of construction, we can recycle or reuse the concrete waste as RCA (Recycled Coarse Aggregate). RCA will be used as the substitute of natural coarse aggregate in the porous concrete, with or without the use of fine aggregate in the porous concrete. Innovation of the use of Recycled Coarse Aggregates (RCA) in concrete mixture is proposal, therefore the compressive strength of porous concrete, with the presence of cement replacement material such as silica fume and fly ash, is needed to be discussed more to be used in pavement materials.

The aggregate preliminary testing includes the weight of the content, the specific gravity and the aggregate absorption. The compressive strength of porous concrete was conducted to evaluate the effect of fly ash and silica fume on porous concrete using RCA is expected to increase the compressive strength of porous concrete. The proportion between cement, aggregate, and water used is 1: 4: 0.3. The method of making porous concrete as same as normal concrete. Compaction using standard hammer proctor, and curing (treatment) for 7 day, in accordance with the curing of ACI 522-I-13.

The results of the compressive strength test show that porous concrete using silica fume, and fly ash can increase the aggregate bonding by using RCA ratio of 0%, 50%, and 100% with the comparison age of 28 days and 56 days. At the age of 28 days test, the maximum compressive strength of the usage percentage of 0% RCA mixture, 25% FA, and 0% SF is with the compressive strength of 8.179 MPa, while at the age of 56 days test reaches its maximum compressive strength on the usage percentage of 50% RCA mixture, 25% FA, and 7% SF with a compressive strength of 10.631 MPa.

Keywords: Porous concrete, RCA, fly ash, silica fume, compressive strength.

PENDAHULUAN

Dalam usaha untuk meningkatkan perkembangan konstruksi yang ada, seperti dalam laju perkembangan infrastruktur yang yang tinggi mengakibatkan intensitas penghancuran bangunan yang sudah ada menjadi semakin besar karena salah satu penyebabnya ketidak sesuaian konstruksi sebelumnya dengan konstruksi baru yang akan dibangun di lokasi itu. Hal tersebut menimbulkan banyaknya limbah dari hasil penghancuran konstruksi sebelumnya, seperti beton dari serpihan – serpihan konstruksi yang sudah dihancurkan. Pengalokasian limbah itu semakin sulit untuk ditemukan, mungkin untuk sebagian ada yang digunakan untuk bahan urugan untuk konstruksi lainnya, dan sebagian dibuang begitu saja dilahan terbuka. Itu menyebabkan kurangnya pemanfaatan limbah betoh dengan baik.

Beton porous atau *Porous concrete* atau *pervious concrete* adalah jenis beton khusus yang memiliki porositas yang tinggi karena campuran beton porous hanya terdiri dari semen, air, dan agregat kasar dengan admixure yang diinginkan sehingga memungkinkan cairan mengalir melalui rongga-rongga yang terdapat pada beton. Beton porous ini merupakan beton yang memiliki campuran agregat halus yang sedikit bahkan tidak ada dalam mix desainnya. Beton ini juga biasanya lebih ekonomis karena lebih sedikit menggunakan agregat dan ramah lingkungan dibandingkan dengan beton biasanya dan nilai fas yang lebih rendah dari beton normal. Dikatakan ramah lingkungan karena nilai porositas dari beton porous ini yang tinggi yaitu beton ini memiliki pori-pori yang lebih banyak daripada beton normal sehingga air dapat melewatinya untuk kemudian diserap oleh tanah dibawahnya, ini dapat menjadi solusi untuk mengurangi genangan air yang terjadi akibat hujan maupun banjir. Adapun aturan yang mengatur mengenai beton porous adalah *ACI 522R-10 Report on Pervious Concrete*. W/C atau rasio kadar air dan semen dalam ACI 522R mengatur sejumlah 0,27 sampai 0,3, kadar air ini lebih rendah dibandingkan kadar air semen beton normal.

Kuat tekan dan porositas merupakan dua hal yang sangat penting pada beton porous. Pembuatan beton mutu tinggi menjadi masalah yang paling utama dalam pembangunan. Hal ini disebabkan karena urgensitas beton sebagai material utama dalam konstruksi. Untuk menghasilkan beton mutu tinggi, salah satu hal yang utama dapat dilakukan adalah dengan meningkatkan mutu material penyusunnya, seperti kekerasan agregat dan kehalusan semen. Untuk meningkatkan kuat tekan beton perlu adanya penambahan bahan kimia seperti silica fume dan fly ash. Dalam teknologi beton, silica fume

digunakan sebagai bahan pengganti atau tambahan untuk tujuan tertentu. Menurut standar "Specification for Silica Fume for Use in Hydraulic Cement Concrete and Mortar" (ASTM.C.1240,1995: 637-642), silica fume merupakan material pozzolan yang halus yang dihasilkan dari sisa produksi silikon . Penggunaan silica fume dalam campuran beton bertujuan untuk meningkatkan kuat tekan beton. Selain silica fume, kekuatan beton juga dapat diperkuat dengan menggunakan fly ash atau abu terbang. Fly ash merupakan hasil dari sisa-sisa pembakaran batu bara. Penambahan fly ash ini mempengaruhi kuat desak pada beton hingga mencapai titik maksimum dibandingkan dengan beton normal. Fly ash memiliki sifat dasar hapor sama seperti semen dalam kehalusan butirannya. Menurut ACI Committee 226, butiran fly ash cukup halus yaitu lolos ayakan No. 325(45 mili micron) 5-27% dengan spesifik gravity antara 2.15-2.6, dan dalam fly ash juga terdapat sifat kimia berupa silica dan alumina mencapai 80%. Adanya kemiripan sifat-sifat dari silica fume dan fly ash dapat menjadikannya sebagai material pengganti untuk mengurangi jumlah penggunaan semen sebagai material pembuatan beton mutu tinggi yang biasanya beton dengan kuat tekan yang tinggi digunakan untuk kolom struktur, dinding geser, pre-cast atau beton pra-tegang, dan perkerasan jalan.

TUJUAN

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui presentase agregat kasar *Recycled Coarse Aggregates* (RCA) dengan *natural coarse agregat* (NCA) terhadap kekuatan beton porous.
2. Mengetahui pengaruh *silica fume* sebagai material pengganti semen terhadap kekuatan beton porous.
3. Mengetahui pengaruh *fly ash* sebagai material pengganti semen terhadap kekuatan beton porous.
4. Mengetahui pengaruh campuran *fly ash* dan *silica fume* sebagai material pengganti semen terhadap kekuatan beton porous.
5. Mengetahui perbandingan antara agregat kasar *Recycled Coarse Aggregates* (RCA) dengan *natural concrete agregat* (NCA) dengan tambahan *silica fume* dan *fly ash* dengan waktu pengujian 28 hari dan 56 hari.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton Porous

Beton porous dalam ACI (American Concrete Institute) 522R-10 *Report on pervious Concrete* adalah beton yang memiliki nilai slump mendekati nol, yang terbentuk dari semen portland, agregat kasar, sedikit atau tanpa agregat halus, admixture, dan air. Beton porous memiliki kisaran angka pori dari 2 sampai 8 mm dan void ratio antara 15% sampai 35% dengan kuat tekan berkisar antara 2,8 MPa sampai 28 MPa. Beton porous sudah banyak digunakan di negara-negara eropa sejak 1930 untuk bangunan berlantai satu maupun untuk bangunan tinggi.

Beberapa pengujian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik beton porous antara lain:

- **Void Ratio**

Menurut ASTM C1688. Void ratio merupakan persentase keseluruhan void atau rongga di bandingkan volume benda. Kadar void ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{void ratio (\%)} = \frac{T-D}{T} \times 100 \quad (2.2)$$

Dimana,

- D = Density (kg/m^3)
- T = M_s/V_s atau Density teoritis (kg/m^3)
- M_s = massa total dari material (kg)
- V_s = total volume dari material (m^3)

- **Density**

Density merupakan perbandingan antara massa benda dengan volume wadah alat uji didasarkan pada ASTM C168M-10 yaitu pengujian density untuk beton segar. Nilai Density diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m} \quad (2.3)$$

Keterangan :

- D = densitas beton (kg/m^3)
- M_c = massa wadah ukur yang diisi beton (kg)
- M_m = massa wadah ukur (kg)
- V_m = volume wadah ukur (m^3)

- **Kuat Tekan**

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang mengakibatkan beton tersebut hancur pada gaya tertentu oleh mesin pengujian. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara permeabilitas dan void ratio terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari berdasarkan standart ASTM C-39 (*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*).

$$\begin{aligned} P &= \text{Beban maksimu (kg)} \\ A &= \text{Luas bidang permukaan (cm}^2\text{)} \\ \text{Kuat tekan} &= \frac{P}{A} \quad (3-10) \end{aligned}$$

- **Anova**

Metode yang digunakan untuk menguji hubungan antara satu variabel dependen (skala metrik – interval, ratio) dengan satu atau lebih variabel independen (skala non metrik atau kategorikal – nominal, ordinal).

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini akan menggunakan variabel, variabel yang digunakan yaitu variabel kontrol, variabel bebas dan variabel terikat.

- **Variabel kontrol :**

1. FAS 0,3
2. Ukuran agregat 1 sampai 2 cm
3. Benda uji silinder dengan diameter 100 mm x 200 mm (4" x 8")
4. Perawatan benda uji beton dibungkus plastic selama 7 hari
5. Pengujian kuat tekan dilakukan pada hari ke-28, dan ke-56

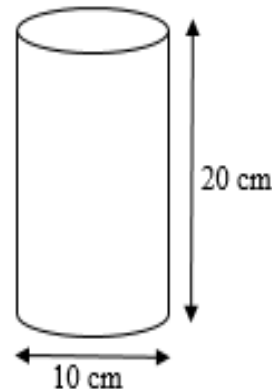
- **Variabel bebas :**

1. Presentase *fly ash*
2. Presentase *silica fume*
3. Presentase RCA

- **Variabel terikat :**

1. Kuat tekan
2. Permeabilitas
3. Void Ratio

Benda uji batako berlubang yang digunakan berukuran tinggi 20 cm, dan diameter 10 cm.



Gambar1. Sampel Silinder Kuat Tekan

Perawatan Benda Uji (*Curing*)¹

Benda uji ditutup dengan plastic sejak pada saat kondisi beton segar selama 7 hari pada temperatur 25° C untuk pematangan (*curing*). Proses *curing* ini dimaksudkan agar memaksimalkan mutu beton *porous* dan membantu proses hidrasi beton dengan menjaga kelembabannya. Proses ini merupakan

¹ Berdasarkan ketentuan pada ACI 522-I-13

perawatan lapangan khusus untuk beton *porous*. Perlakuan ini berdasarkan ketentuan yang ada pada ACI 522-I-13. Karena untuk memaksimalkan proses hidrasi beton agar tidak cepat menguap. Air yang telah tercampur pada beton segar cenderung cepat menguap karena komposisi *mix design* yang berpori.

Prosedur

Pelaksanaan curing yaitu sebagai berikut:

1. Meletakkan beton segar ke dalam bekisting
2. Proctor beton segar sesuai dengan ketentuan pada pembuatan benda uji.
3. Setelah diratakan, bungkus permukaan bekisting yang terbuka dengan plastic, dan direkatkan dengan bekisting bisa dengan bantuan karet atau isolasi.

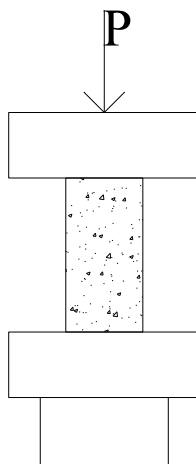
Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang mengakibatkan beton tersebut hancur pada gaya tertentu oleh mesin penguji. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton pada umur 28 hari berdasarkan standart ASTM C-39 (*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*).

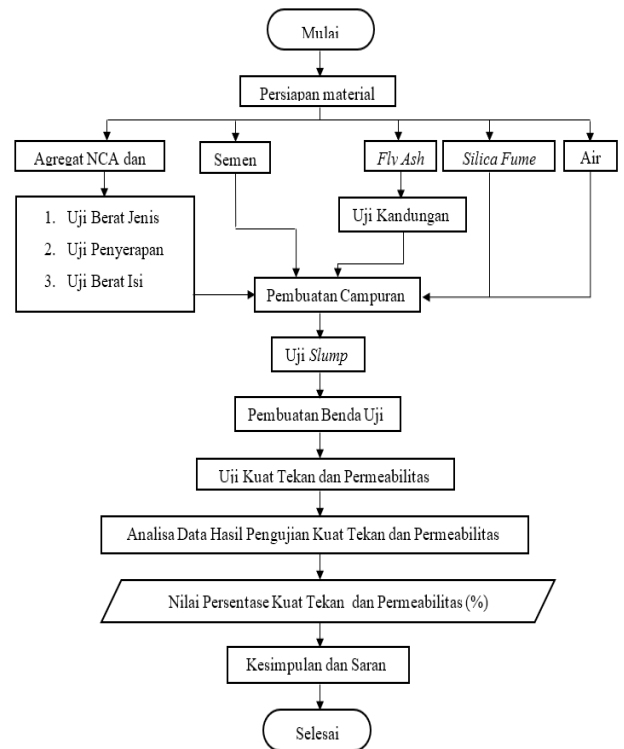
Prosedur Pengujian

Pelaksanaan pengujian kuat tekan yaitu sebagai berikut:

1. Meletakkan benda uji pada mesin penguji secara sentris.
2. Posisikan jarum skala gaya pada angka 0.
3. Menjalankan mesin penguji dengan penambahan beban yang konstan.
4. Lakukan pembebanan sampai benda uji hancur.
5. Catat beban maksimum yang mampu ditahan



Gambar 2. Skema Pengujian Kuat Tekan



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

HASIL PENELITIAN

Berat Isi Agregat Kasar Alami (NCA) dan Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

Hasil 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 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 Kasar Daur Ulang (RCA)

Diperoleh tiga macam berat jenis yaitu berat jenis curah, berat jenis kering, berat jenis permukaan dan berat jenis semu sehingga diperoleh nilai persentase penyerapan (*absorption*) agregat. Nilai rata-rata dari berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, dan berat jenis semu adalah 2,390; 2,471; dan 2,601. Nilai berat jenis yang digunakan adalah berat jenis kering permukaan jenuh yaitu 2,471. Hal ini menunjukkan bahwa RCA memiliki nilai berat jenis lebih besar daripada syarat yang ditentukan yaitu 2,4 (ASTM C-33). Sedangkan hasil tiga sampel menunjukkan nilai rata-rata penyerapan agregat kasar daur ulang

sebesar 3,394%. Nilai penyerapan rata-rata RCA lebih kecil daripada syarat yang ditentukan yaitu 4% (ASTM C-33). Maka hal ini sesuai standar yang ditentukan dan dapat digunakan.

Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Alami (NCA)

Diperoleh tiga macam berat jenis NCA yaitu berat jenis curah, berat jenis kering permukaan, dan berat jenis semu serta nilai penyerapan NCA. Nilai rata-rata dari berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh dan berat jenis semu adalah 2,614; 2,655; dan 2,726. Nilai berat jenis yang digunakan adalah berat jenis kering permukaan jenuh yaitu 2,655. Hal ini menunjukkan bahwa NCA memiliki nilai berat jenis yang memenuhi syarat yaitu 2,4 sampai dengan 2,9 (ASTM C-33). Sedangkan hasil dari tiga sampel menunjukkan nilai rata-rata penyerapan NCA sebesar 1,573%. Nilai penyerapan NCA lebih rendah daripada nilai penyerapan RCA. Sehingga nilai penyerapan NCA memenuhi persyaratan. Syarat penyerapan NCA adalah $\leq 1,63\%$. Hal ini juga sebanding dengan nilai penyerapan NCA yang lebih kecil daripada RCA.

Kelecekan (*Workability*)

Pada pengujian tersebut diperoleh nilai slump dari setiap pembuatan campuran beton pada setiap sampel. Nilai slump paling kecil pada pengujian ini adalah terbesar adalah 19 cm dan yang terendah adalah 6,5 cm. Semakin besar nilai slump, maka semakin mudah pengerjaannya, dan semakin kecil nilai slump, maka kemudahan pekerjaan (*workability*) semakin rendah. Hal ini juga akan berpengaruh pada kuat tekan beton yang dihasilkan. Selain itu, nilai slump yang besar akan memiliki kandungan air yang banyak pula, maka akan meningkatkan nilai abrasi pada beton porus.

Density (Beton Segar)

Berat volume beton segar (Density) merupakan perbandingan antara massa beton dengan volume alat uji. Berat beton diperoleh nilai berat volume beton segar untuk mengetahui kepadatan beton segar aktual. Hasil pengujian berat volume menunjukkan bahwa pada RCA 0% memiliki berat volume yang paling besar yaitu sebesar 1696,42 kg/m³, pada RCA 50% memiliki berat volume yang paling besar yaitu sebesar 1581,41 kg/m³, dan pada RCA 100% memiliki berat volume yang paling besar yaitu sebesar 1629,33 kg/m³.

Void Ratio

Variasi persentase RCA dapat mempengaruhi *void ratio*, dimana penggunaan RCA 50% dan 100% dapat mengurangi *void ratio* pada campuran semen normal tanpa menggunakan *fly ash* dan *silica fume*. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya agregat daur ulang yang masih terdapat mortar lama. RCA memiliki berat jenis yang lebih ringan dibanding NCA maka dapat dipastikan RCA akan lebih mudah rapuh dan hancur apabila dipadatkan. Oleh karena itu semakin banyak RCA akan lebih mudah mengisi rongga dibandingkan dengan beton porus menggunakan agregat normal.

Permeabilitas

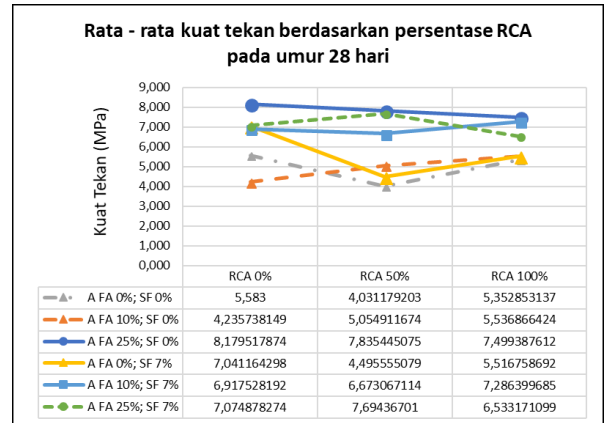
Pada pengujian ini nilai permeabilitas pada beton yang paling *permeable* merupakan beton dengan campuran RCA 0 %, FA 0 %, dan SF 0 % yaitu sebesar 13,28 mm/detik, sedangkan pada beton yang paling tidak *permeable* pada beton dengan campuran RCA 0 %, FA 25 %, dan SF 7 % yaitu sebesar 5,04 mm/detik (dapat dilihat pada Gambar 4.14). Hal ini terjadi karena pada beton dengan campuran RCA 0 %, FA 0 %, dan SF 0 %, memiliki angka persentase pori yang besar sehingga air cepat melewati beton. Sedangkan pada permeabilitas yang kecil disebabkan karena angka persentase pori pada variasi ini relatif kecil daripada yang lain.

Kuat Tekan Beton Porous

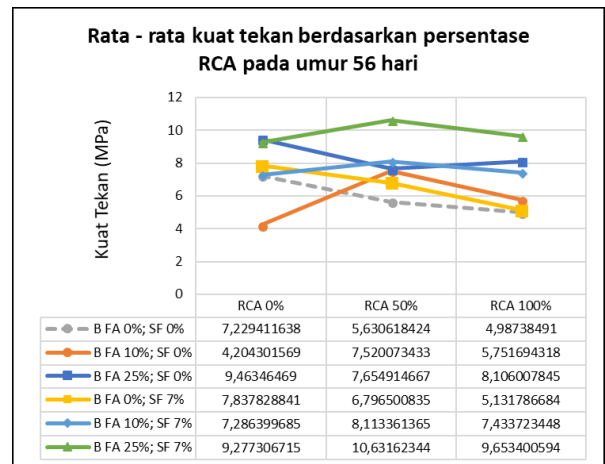
Berikut adalah hasil uji kuat tekan rata-rata pada setiap variasi *mix design*. Nilai kuat tekan di atas menunjukkan bahwa beton dengan campuran RCA 0%, FA 25%, dan SF 0% pada umur 28 hari memiliki rata – rata nilai kuat tekan yang tinggi yaitu sebesar 9,2095 MPa sedangkan rata – rata nilai kuat tekan terendah pada variasi *mix design* RCA 50%, FA 0%, dan SF 0% pada umur 28 hari yaitu sebesar 4,494 Mpa. Untuk beton yang memiliki rata – rata nilai kuat tekan yang tinggi dengan umur 56 hari dengan campuran RCA 50%, FA 25%, dan SF 7% yaitu sebesar 12,923 MPa, sedangkan untuk beton yang berumur 56 hari dengan rata – rata nilai kuat tekannya rendah pada variasi campuran RCA 0%, FA 10%, dan SF 0% yaitu sebesar 4,817 MPa

Tabel 1. Rekap Hasil Kuat Tekan

NO	KODE MIX DESIGN	Kuat tekan rata - rata (MPa)
1	AR0 F0S0	5,582795464
2	AR0 F1S0	4,235738149
3	AR0 F2S0	8,179517874
4	AR0 F0S1	7,041164298
5	AR0 F1S1	6,917528192
6	AR0 F2S1	7,074878274
7	AR1 F0S0	4,031179203
8	AR1 F1S0	5,054911674
9	AR1 F2S0	7,835445075
10	AR1 F0S1	4,495555079
11	AR1 F1S1	6,673067114
12	AR1 F2S1	7,69436701
13	AR2 F0S0	5,352853137
14	AR2 F1S0	5,536866424
15	AR2 F2S0	7,499387612
16	AR2 F0S1	5,516758692
17	AR2 F1S1	5,024406371
18	AR2 F2S1	6,533171099
19	BR0 F0S0	7,229411638
20	BR0 F1S0	4,204301569
21	BR0 F2S0	9,46346469
22	BR0 F0S1	7,837828841
23	BR0 F1S1	7,286399685
24	BR0 F2S1	9,277306715
25	BR1 F0S0	5,630618424
26	BR1 F1S0	7,520073433
27	BR1 F2S0	7,654914667
28	BR1 F0S1	6,796500835
29	BR1 F1S1	8,113361365
30	BR1 F2S1	10,63162344
31	BR2 F0S0	4,98738491
32	BR2 F1S0	5,751694318
33	BR2 F2S0	8,106007845
34	BR2 F0S1	5,131786684
35	BR2 F1S1	7,433723448
36	BR2 F2S1	9,653400594



Gambar 4. Grafik Pengujian Kuat Tekan pada umur 28 hari



Gambar 5. Grafik Pengujian Kuat Tekan pada umur 56 hari

Tabel 2. Rekap Hubungan Kuat Tekan dengan Void Ratio dan Permeabilitas.

NO	KODE MIX DESIGN	Kuat tekan rata - rata (MPa)	Void Ratio (U)%	k rata-rata
1	AR0 F0S0	5,582795	37,84972	13,28106
2	AR0 F1S0	4,235738	38,00594	10,82498
3	AR0 F2S0	8,179518	32,7085	8,71553
4	AR0 F0S1	7,041164	37,59673	10,35136
5	AR0 F1S1	6,917528	36,611	7,534213
6	AR0 F2S1	7,074878	32,05873	5,035911
7	AR1 F0S0	4,031179	37,24134	10,58307
8	AR1 F1S0	5,054912	38,44952	9,673724
9	AR1 F2S0	7,835445	35,14495	7,495624
10	AR1 F0S1	4,495555	38,953	9,938547
11	AR1 F1S1	6,673067	36,77741	10,31168
12	AR1 F2S1	7,694367	34,48956	6,323961
13	AR2 F0S0	5,352853	36,56163	10,22606
14	AR2 F1S0	5,536866	36,37057	10,31474
15	AR2 F2S0	7,499388	36,09056	10,89809
16	AR2 F0S1	5,516759	38,74906	6,98814

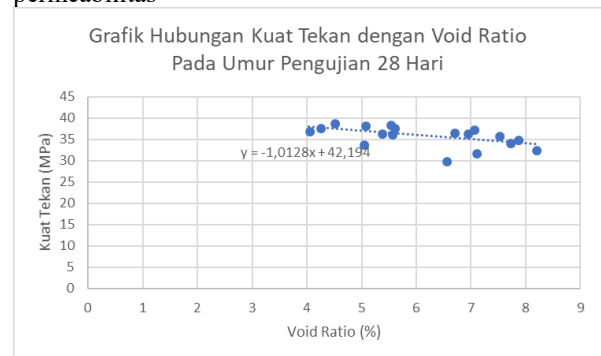
17	AR2	F1S1	5,024406	34,06261	6,429087
18	AR2	F2S1	6,533171	30,07535	6,458412
19	BR0	F0S0	7,229412	37,84972	13,28106
20	BR0	F1S0	4,204302	38,00594	10,82498
21	BR0	F2S0	9,463465	32,7085	8,71553
22	BR0	F0S1	7,837829	37,59673	10,35136
23	BR0	F1S1	7,2864	36,611	7,534213
24	BR0	F2S1	9,277307	32,05873	5,035911
25	BR1	F0S0	5,630618	37,24134	10,58307
26	BR1	F1S0	7,520073	38,44952	9,673724
27	BR1	F2S0	7,654915	35,14495	7,495624
28	BR1	F0S1	6,796501	38,953	9,938547
29	BR1	F1S1	8,113361	36,77741	10,31168
30	BR1	F2S1	10,63162	34,48956	6,323961
31	BR2	F0S0	4,987385	36,56163	10,22606
32	BR2	F1S0	5,751694	36,37057	10,31474
33	BR2	F2S0	8,106008	36,09056	10,89809
34	BR2	F0S1	5,131787	38,74906	6,98814
35	BR2	F1S1	7,433723	34,06261	6,429087
36	BR2	F2S1	9,653401	30,07535	6,458412

Hubungan Kuat Tekan Beton Porous dengan Void Ratio dan Permeabilitas

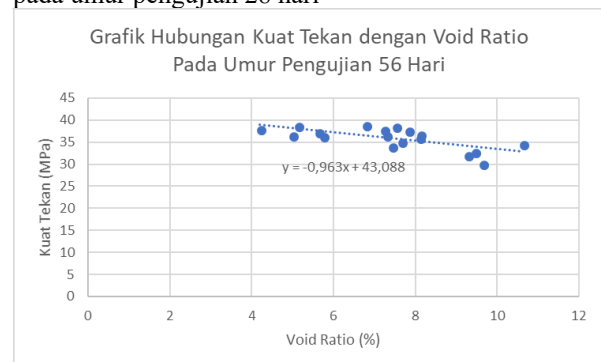
Pada penelitian ini menunjukkan bahwa pada variasi umur pengujian 28 hari beton *porous* kuat tekan tertinggi terdapat pada campuran RCA 0%, *Fly ash* 25%, dan *Silica fume* 0% yaitu sebesar 8,179 MPa, dimana angka pori termasuk kecil yaitu sebesar 32,708 %, dan permeabilitas termasuk kecil juga yaitu sebesar 8,715 mm/det. Begitu pula dengan *void ratio* yang paling besar terdapat pada campuran RCA 50 %, *Fly ash* 0 %, dan *Silica fume* 7% yaitu sebesar 38,953 % memiliki nilai kuat tekan yang termasuk rendah sebesar 4,495 MPa dan untuk permeabilitas yang berilai paling besar terdapat pada campuran RCA 0 %, *Fly ash* 0 %, dan *Silica fume* 0 % yaitu sebesar 13,281 mm/det pada campuran ini memiliki nilai kuat tekan yang relatif rendah yaitu 5,582 MPa. Kuat tekan beton porous berbanding terbalik terhadap persentase angka pori dan permeabilitas.

Pada penelitian ini juga menunjukkan bahwa pada variasi umur pengujian 56 hari beton *porous* kuat tekan tertinggi terdapat pada campuran RCA 50%, *Fly ash* 25%, dan *Silica fume* 7% yaitu sebesar 10,631 MPa, dimana angka pori termasuk kecil yaitu sebesar 34,489 %, dan permeabilitas termasuk kecil juga yaitu sebesar 6,323 mm/det. Begitu pula dengan *void ratio* yang paling besar terdapat pada campuran RCA 50 %, *Fly ash* 0 %, dan *Silica fume* 7% yaitu sebesar 38,953 % memiliki nilai kuat tekan yang termasuk rendah sebesar 6,796 MPa dan untuk permeabilitas yang berilai paling besar terdapat pada campuran RCA 0 %, *Fly ash* 0 %, dan *Silica fume* 0 % yaitu

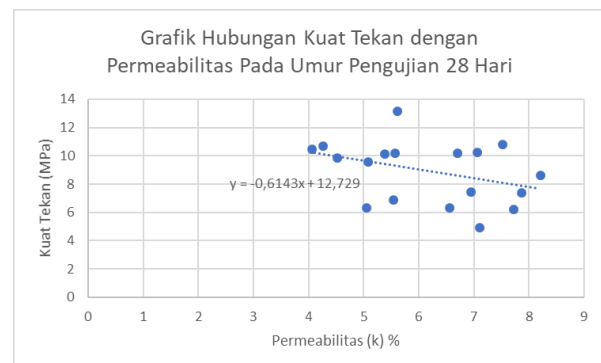
sebesar 13,281 mm/det pada campuran ini memiliki nilai kuat tekan yang relatif rendah yaitu 7,229 MPa. Kuat tekan beton porous berbanding terbalik terhadap persentase angka pori dan permeabilitas



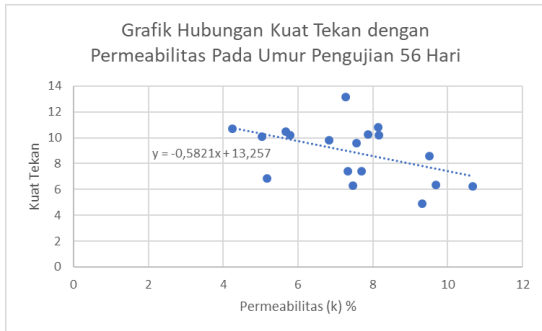
Gambar 6. Hubungan kuat tekan dan *void ratio* pada umur pengujian 28 hari



Gambar 7. Hubungan kuat tekan dan *void ratio* pada umur pengujian 56 hari



Gambar 8. Hubungan kuat tekan dan *Permeabilitas* pada umur pengujian 28 hari



Gambar 9. Hubungan kuat tekan dan Permeabilitas pada umur pengujian 56 hari

Analisis Statistik Kuat Tekan Beton Porous

Tabel 3. Tabel Uji *Anova* pada Uji Pengaruh RCA terhadap kuat tekan

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.698	2	1.349	.483	.621
Within Groups	92.184	33	2.793		
Total	94.882	35			

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa RCA secara keseluruhan memiliki nilai signifikansi sebesar 0,621 yaitu lebih besar dari nilai 0,05 dan maka RCA memberikan hasil tidak signifikan. Serta nilai $F_{hitung} (0,483) < F_{tabel} (3,28)$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak. Sehingga pengaruh RCA tidak memberikan hasil signifikan.

Tabel 4. Tabel Uji *Anova* pada Uji Pengaruh FA 25% terhadap kuat tekan

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	43.277	1	43.277	28,513	.000
Within Groups	51.605	34	1.518		
Total	94.882	35			

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa *Fly Ash* 25% menunjukkan perhitungan $F_{hitung} (28,513 > F_{tabel} (4,13))$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Serta nilai sig. $0,000 < 0,005$ Sehingga *Fly Ash* memberikan hasil yang signifikan terhadap nilai kuat tekan.

Tabel 5. Tabel Uji *Anova* pada Uji Pengaruh SF 7% terhadap kuat tekan

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6.482	1	6.482	2.493	.124
Within Groups	88.400	34	2.600		
Total	94.882	35			

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa SF 7% memiliki nilai signifikansi sebesar $0,124 > 0,05$. Serta nilai $F_{hitung} (2,493) < F_{tabel} (4,13)$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak. Sehingga pengaruh SF 7% tidak memberikan hasil signifikan.

Tabel 6. Tabel Uji *Anova* pada Uji Pengaruh umur uji terhadap kuat tekan

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13.975	1	13.975	5.873	.021
Within Groups	80.907	34	2.380		
Total	94.882	35			

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa umur uji secara keseluruhan memiliki nilai signifikansi sebesar 0,021 yaitu lebih kecil dari nilai 0,05 dan maka umur uji memberikan hasil signifikan. Serta nilai $F_{hitung} (5,873) > F_{tabel} (4,13)$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Sehingga pengaruh umur uji memberikan hasil signifikan.

Tabel 7. Tabel *Paired Samples Test* Campuran *Fly Ash* dan *Silica Fume* terhadap Kuat Tekan pada Umur 28 hari.

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Upper				Lower
Pair 1	ASFFA0 - AKT0	4,67133	1,08461	,44279	5,80956	3,53310	10,550	5	,000
Pair 2	ASFFA5 - AKT5	4,46233	1,14694	,46824	5,66598	3,25869	9,530	5	,000
Pair 3	ASFFA10 - AKT10	4,57317	,49054	,20026	5,08795	4,05838	22,836	5	,000

1. Kelompok 1 menunjukkan hubungan antara RCA 0% dengan FA+SF
2. Kelompok 2 menunjukkan hubungan antara RCA 50% dengan FA+SF
3. Kelompok 3 menunjukkan hubungan antara RCA 100% dengan FA+SF

Dari tabel diatas menunjukkan semua variasi RCA menunjukkan nilai $p < 0,05$ sehingga H_0 diterima yang berarti bahwa campuran *fly ash* dan *silica fume* memberikan pengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton porous.

Tabel 8. Tabel *Paired Samples Test* Campuran *Fly Ash* dan *Silica Fume* terhadap Kuat Tekan pada Umur 56 hari.

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Upper				Lower
Pair 1	BSFFA0 - BKT0	5,8790	1,55541	,6350	7,5113	4,24669	9,258	5	,000
Pair 2	BSFFA5 - BKT5	5,5550	1,33527	,5451	6,9562	4,15372	10,119	5	,000
Pair 3	BSFFA10 - BKT10	5,5066	1,45581	,5943	7,0344	3,97889	9,265	5	,000

1. Kelompok 1 menunjukkan hubungan antara RCA 0% dengan FA+SF
2. Kelompok 2 menunjukkan hubungan antara RCA 50% dengan FA+SF
3. Kelompok 3 menunjukkan hubungan antara RCA 100% dengan FA+SF

Dari tabel diatas menunjukkan semua variasi RCA menunjukkan nilai $p < 0,05$ sehingga H_0 diterima yang berarti bahwa campuran *fly ash* dan *silica fume* memberikan pengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton porous.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Variasi RCA dapat mempengaruhi kuat tekan beton porous dengan hasil nilai kuat tekannya bervariasi untuk setiap campuran RCA 0%, RCA 50%, dan RCA 100%.
2. Penggunaan *silica fume* sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan beton porous secara umum dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton porous karena meningkatkan bonding atau daya ikat antar agregat yang menggunakan variasi persentase campuran RCA 0% dan RCA 50%, namun pada saat penggunaan persentase RCA 100% dapat mengurangi nilai kuat tekan beton karena pada RCA mengandung mortar lebih banyak yang dapat mengurangi kekuatan agregat. Pada penelitian ini nilai maksimum penggunaan *silica fume* akan mencapai nilai maksimum pada saat penggunaan persentase *silica fume* sebesar 7%, dengan variasi campuran RCA 0%, FA 0%, SF 7% sebesar 7,838 MPa.
3. Penggunaan *fly ash* sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan beton porous secara umum dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton porous karena meningkatkan bonding atau daya ikat antar agregat yang menggunakan variasi persentase campuran RCA 0% RCA 50%, dan RCA 100%. Pada penelitian ini nilai maksimum penggunaan *fly ash* akan mencapai nilai maksimum pada saat penggunaan persentase *fly ash* sebesar 25%, dengan variasi campuran RCA 0%, FA 25%, SF 0% sebesar 9,463 MPa.
4. Penggunaan campuran *fly ash + silica fume* sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan beton porous secara umum dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton porous karena meningkatkan bonding atau daya ikat antar agregat yang menggunakan variasi persentase campuran RCA 0% RCA 50%, dan RCA 100%. Pada penelitian ini nilai maksimum penggunaan campuran *fly ash + silica fume* akan mencapai nilai maksimum pada saat penggunaan persentase *fly ash* sebesar 25% dan *silica fume* sebesar 7%, dengan variasi campuran RCA 50%, FA 25%, SF 7% sebesar 10,631 MPa.
5. Penggunaan bahan pengganti semen yaitu berupa *silica fume* dan *fly ash* dapat meningkatkan kekuatan beton porous secara umum pada penggunaan variasi RCA 0%, RCA 50%, dan RCA 100% dengan variasi umur pengujian yaitu 28 hari dan 56 hari. Pada penelitian ini nilai kuat tekan lebih paling besar terdapat pada variasi persentase

campuran RCA 50%, FA 25%, SF 7% dengan umur pengujian 56 hari. Berdasarkan penelitian terdahulu pada beton normal akan mengalami peningkatan kekuatan yang konstan setelah umur 28 hari, sama halnya dengan beton porous yang ditambahkan dengan *fly ash* yang dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton dengan umur pengujian yang lebih lama.

Saran

Pada penelitian yang dilaksanakan untuk pengaruh *void ratio* dan permeabilitas terhadap kuat beton dengan variasi RCA, dapat diberikan saran sebagai berikut.

1. Benda uji disimpan pada tempat yang aman terhindar dari kegiatan yang dapat mengganggu atau merusak benda uji mengingat jumlah benda uji untuk setiap variasi sedikit.
2. Pada saat membuat perhitungan campuran *mix desain* harus lebih teliti karena akan mempengaruhi benda uji dan campuran yang akan digunakan
3. Saat proses pembuatan benda uji sebaiknya diperhatikan secara teliti bersama – sama agar terhindar dari kesalahan seperti kurangnya jumlah tumbukan pada saat proses *proctor* dalam pembuatan sampel.
4. Pada saat pengujian, persiapan pengujian sebaiknya dilakukan agar tidak terjadi kesalahan pada saat pengujian berlangsung.
5. Dapat dilanjutkan untuk penelitian selanjutnya dengan uji tes yang berbeda seperti uji kuat lentur, perkuatan beton porous dengan penambahan *fiber*, dan lain sebagainya dengan pertimbangan dosen dan penelitian yang sudah ada.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee. (2010). ACI 522R-10, *Repot on Pervious Concrete*, USA: 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 Institue of Physics.
- ASTM C 618 – 05. (2005). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. ASTM International.
- ASTM C-125. (1995). *Standard Definition of Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregate*. ASTM International.

- ASTM C1688. "Standard Test Method for Density and Void Content of Freshly Mixed Pervious Concrete.
- Bahar, Suardi & Suhandi, Rahman. (2004). *Pedoman Pekerjaan Beton*, Jakarta: PT. Wijaya Karya (PT. WIKA).
- Candra, Kartika. 2017. Pengaruh Komposisi Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton Porous dengan Variasi Komposisi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)
- Departemen Pekerjaan Umum, SNI 03-1969-1990, *Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Departemen Pekerjaan Umum, SNI 03-1974-1990, *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Departemen Pekerjaan Umum, SNI 03-2834-2000, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Departemen Pekerjaan Umum, SNI 15-2049-2004, *Semen Portland*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Kou, S. C., dkk. 2008. *Influence of Fly Ash as a Cement Addition on the hardened Properties of Recycled Aggregate Concrete*. The Hongkong Polytechnic University, Hongkong
- Nawy, Edward G., (1998). *Beton Bertulang (Suatu Pendekatan Dasar)*. Penerbit PT. Rafika Aditama, Bandung
- Neville, A.M., Brooks, J.J. (2010). *Concrete Technology*, Second Edition, Pearson Education Limited, Essex, England.
- Nurlina, Siti. (2008). *Struktur Beton*. Malang: Bargie Media.
- Ravindra Rajah, Sri. 2014. *Effect of Supplementary Cementitious Material on Properties of Pervious Concrete With Fixed Porosity*. University of Technology, Sydney
- SNI S-15-1990-F. *Spesifikasi Abu Terbang Sebagai Bahan Tambahan Campuran Beton*.
- SNI-03-1974-1990. *Tata Cara Perhitungan Kuat Tekan Beton*. Badan Standarisasi Nasional (BSN)
- SNI 03-2834-2000 *Tata Cara Rencana Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
- SNI-15-2049-2004. *Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional (BSN)
- SNI 15-0302-2004. *Semen Portland Pozolan*. Badan Standarisasi Nasional (BSN)
- Wardani, Sri Prabandiyani Retno. (2008). *Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Jurnal: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Wibowo, Ari & Setyowati, Edhi W. (2003). *Buku Diktat Teknologi Beton*. Malang: Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya