

**PENGARUH METODE *TWO-STAGE MIXING APPROACH* (TSMA)
TERHADAP KUAT TEKAN BETON *POROUS* DENGAN VARIASI
KOMPOSISI AGREGAT KASAR DAUR ULANG (RCA)**

**NASKAH PUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**KARTINI APRIANTI
NIM. 135060101111057**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2017**

PENGARUH METODE *TWO-STAGE MIXING APPROACH* (TSMA) TERHADAP KUAT TEKAN BETON *POROUS* DENGAN VARIASI KOMPOSISI AGREGAT KASAR DAUR ULANG (RCA)

(Effect of Two-Stage Mixing Approach (TSMA) on the Compression Strength of Porous Concrete with Variations Composition of Recycled Coarse Aggregates (RCA))

Kartini Aprianti, Eva Arifi, Devi Nuralinah

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, JawaTimur, Indonesia

Email: kartiniaprianti04@yahoo.com

ABSTRAK

Beton *porous* adalah salah satu jenis beton yang mempunyai rongga udara lebih besar sehingga memungkinkan air untuk mengalir melalui rongga beton dan dapat diserap oleh tanah. Adanya rongga udara yang lebih besar, mengakibatkan kuat tekan beton *porous* lebih rendah dibandingkan beton konvensional. Penggunaan beton *porous* dapat dikembangkan lagi dengan mengganti sebagian atau seluruh agregat kasar alam (NCA) dengan agregat kasar beton daur ulang (RCA). Kualitas RCA umumnya lebih rendah daripada NCA, sehingga metode *Two-Stage Mixing Approach* (TSMA) diharapkan dapat meningkatkan kualitas beton *porous* yang menggunakan RCA.

Pengujian material pada penelitian ini meliputi berat isi, berat jenis, dan penyerapan air pada agregat kasar. Sedangkan pengujian untuk beton *porous* meliputi berat isi dan kuat tekan. Uji tekan dilaksanakan untuk mengetahui pengaruh komposisi RCA dan metode pencampuran terhadap kuat tekan beton *porous*. Persentase RCA yang digunakan yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%, sedangkan metode pencampuran yang digunakan yaitu *Normal Mixing Aggregates* (NMA) dan *Two-Stage Mixing Approach* (TSMA).

Pengujian tekan dilakukan pada umur beton 28 hari dengan alat *Compressing Testing Machine* (CTM). Berdasarkan hasil pengujian didapatkan kuat tekan rata-rata maksimum yaitu pada komposisi RCA 100% dan metode TSMA dengan nilai 11,81 MPa. Pada penelitian ini, hasil pengujian kuat tekan memenuhi syarat ACI 522R-10 tentang beton *porous*.

Kata kunci: Beton *porous*, kuat tekan, agregat kasar daur ulang, *Two-Stage Mixing Approach* (TSMA)

ABSTRACT

Porous concrete is a type of concrete that has a larger pore to allows water to flow through the concrete pores and absorbed by the soil. Because it have larger pores, the compression strength of porous concrete is lower than conventional concrete. The use of porous concrete can be further expanded by replacing some or all of the natural coarse aggregates (NCA) with recycled coarse aggregate (RCA). The quality of RCA is generally lower than NCA, so the Two-Stage Mixing Approach (TSMA) was expected to improve the quality of porous concrete using RCA.

The test for material in this research included the density, specific gravity and water absorption of coarse aggregates. While the test for porous concrete included the density and compression strength. These test were conducted to determine the effect of RCA composition and mixing methods on the compression strength of porous concrete. The percentage of RCA used were 0%, 25% 50%, 75%, and 100%, while mixing methods were Normal Mixing Aggregates (NMA) and Two-Stage Mixing Approach (TSMA).

The compression strength test was performed at 28 days of concrete using Compressing Testing Machine (CTM). Based on the test results, the maximum compression strength was retained by 100% RCA composition and TSMA method with a value of 11.81 MPa. In this research, the results of compression strength fulfill ACI 522R-10 requirement about porous concrete.

Keywords: Porous concrete, compression strength, recycled coarse aggregates, *Two-Stage Mixing Approach* (TSMA)

PENDAHULUAN

Salah satu material yang sangat penting dan sering kali digunakan untuk konstruksi adalah beton. Kegunaan beton selain untuk konstruksi struktur bangunan, yaitu sebagai lapisan perkerasan jalan. Akan tetapi, lapisan perkerasan jalan umumnya dibuat kedap air sehingga menghambat peresapan air ke dalam tanah. Untuk mencegah hal tersebut, diperlukan alternatif beton yang ramah lingkungan seperti beton *porous*. Beton *porous* adalah salah satu jenis beton yang mempunyai rongga udara lebih besar sehingga memungkinkan air untuk mengalir melalui rongga beton dan dapat diserap oleh tanah. Adanya rongga udara yang lebih besar, mengakibatkan kuat tekan beton *porous* lebih rendah dibandingkan beton konvensional. Dari keunggulan beton *porous* yang ramah lingkungan, penggunaannya dapat dikaji lebih lanjut lagi. Salah satunya dengan mengganti sebagian atau seluruh agregat kasar alam (*Natural Coarse Aggregates*) dengan agregat kasar beton daur ulang (*Recycled Coarse Aggregates*). RCA umumnya memiliki kualitas yang lebih rendah dibandingkan dengan NCA. Beberapa hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan agregat daur ulang cenderung menyebabkan penurunan kuat tekan beton. Untuk meningkatkan kualitas dari beton yang menggunakan RCA, diperlukan metode pencampuran yang lain, salah satunya adalah *Two-Stage Mixing Approach* (TSMA). Penggunaan TSMA dalam pencampuran beton telah menunjukkan peningkatan kuat tekan beton (Arifi, 2015).

TUJUAN

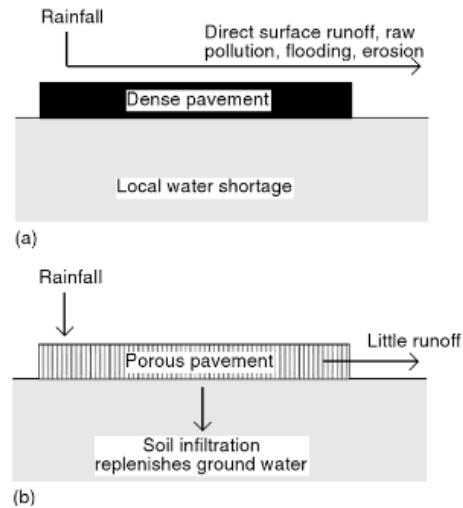
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh komposisi RCA sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dengan NCA terhadap kuat tekan beton *porous*, serta mengetahui perbedaan pengaruh metode TSMA dengan NMA pada beton *porous* yang memakai RCA.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton Porous

Beton *porous* atau beton berpori juga dikenal sebagai *pervious concrete* memiliki campuran hampir sama dengan beton konvensional pada umumnya, beton *porous* terdiri dari semen, air, dan agregat. Tetapi, agregat yang digunakan yaitu agregat kasar dan sedikit agregat halus atau tanpa

agregat halus. Hal itu menyebabkan beton *porous* mempunyai rongga udara yang lebih besar, sehingga memungkinkan air untuk mengalir melalui rongga tersebut.



Gambar 1. Efek hidrologi terhadap perkerasan kaku dan perkerasan *porous*

Sumber: Ferguson (2005)

Beton *porous* bertujuan untuk mengalirkan air hujan melalui rongga-rongga beton hingga memungkinkan air untuk diserap oleh tanah. Adanya rongga udara yang lebih besar mengakibatkan kuat tekan beton *porous* lebih rendah dibandingkan beton konvensional, sehingga beton *porous* tidak cocok untuk diaplikasikan pada struktur yang memerlukan kuat tekan tinggi.

Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

RCA adalah agregat kasar yang dibentuk dari proses pemecahan, pengukuran, pencucian, dan pemilihan dari beton keras yang ada. Penggunaan RCA tidak diijinkan untuk digunakan pada beton struktur yang memerlukan kuat tekan yang tinggi, tetapi dapat digunakan pada beton non-struktural seperti batas jalan, perkerasan jalan, *landscape*, dan sejenisnya. Berdasarkan hasil studi eksperimental, RCA mengandung mortar sebesar 25% hingga 45%, yang mengakibatkan berat jenis agregat menjadi lebih kecil, lebih berpori, kekerasannya berkurang, bidang temu (*interface*) bertambah, dan unsur-unsur kimia agresif lebih mudah masuk dan merusak. Selain itu, terdapat retak mikro pada RCA yang ditimbulkan oleh tumbukan mesin pemecah batu pada saat proses produksi agregat daur ulang yang tidak dapat membelah daerah lempengan atau patahan pada

NCA. Retak tersebut tertahan oleh kekangan mortar yang menyelimuti NCA (Suharwanto, 2005).

Two-Stage Mixing Approach (TSMA)

Faktor terpenting yang mempengaruhi kualitas adalah tingginya penyerapan air karena banyaknya mortar yang menempel pada RCA. Penggunaan RCA umumnya menyebabkan pengurangan sekitar 10% pada kekuatan tekan dan tarik, hingga 35% pengurangan modulus elastisitas, dan hampir 100% peningkatan susut pengeringan serta kenaikan permeabilitas 100%. Selain itu, antara mortar dan agregat kasar terdapat zona antar permukaan atau *interface transition zone* (ITZ) dan kehancuran pada beton dapat terjadi pada ITZ, dimana ikatan antara pasta semen dan agregat tidak sempurna. Salah satu pemecahan permasalahan untuk mendapat beton mutu tinggi ialah dengan memperkuat ITZ. Untuk meningkatkan kualitas dari beton yang memakai RCA, diperlukan metode pencampuran yang lain. Hal tersebut mempengaruhi Tam et al., 2005 mengusulkan metode *Two-Stage Mixing Approach* (TSMA) untuk meningkatkan kekuatan beton agregat daur ulang. Pada penelitian Tam et al, perbaikan kekuatan dapat dicapai hingga 21,19% untuk TSMA (dengan penggantian RCA 20% dan setelah 28 hari perawatan). Metode TSMA menunjukkan perbaikan kuat tekan pada beton agregat daur ulang dibandingkan dengan NMA (Arifi, 2015). TSMA adalah metode dengan membagi tahap pencampuran menjadi dua bagian, air dan semen yang diperlukan dibagi dua untuk ditambahkan di waktu yang berbeda. RCA dicampur dengan 50% pasta semen pada tahap pertama, kemudian dikeringkan sebelum tahap kedua pengecoran menyeluruh dengan sisa air dan semen tersebut. Pada RCA terdapat retakan dan rongga akibat proses penghancuran beton menjadi RCA. Pada tahap pertama TSMA, air digunakan untuk membentuk lapisan tipis bubuk semen dan membentuk ITZ yang lebih kuat dengan mengisi retakan dan rongga tersebut. Pada penelitian sebelumnya, TSMA terbukti dapat meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton yang menggunakan RCA.

Kuat Tekan

Besarnya kuat tekan dapat ditentukan dengan persamaan:

$$f_c' = \frac{P}{A}$$

Dimana:

f_c' = kuat tekan beton umur rencana (Mpa)

P = beban uniaksial tekan maksimum (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai kuat tekan beton yaitu *mix design*, proporsi materialnya, proses pencampuran dan pemadatan, serta proses *curing* di lapangan. Perencanaan proporsi material yaitu dari perbandingan agregat, semen, dan air yang digunakan. Berdasarkan ACI 522R-10 tentang beton *porous*, biasanya kuat tekan beton *porous* sebesar 2,8 Mpa sampai 28 Mpa. Hal itu menyebabkan beton *porous* memiliki aplikasi yang terbatas karena kuat tekannya yang lebih kecil dibanding beton konvensional.

METODE PENELITIAN

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Pengujian	Pengujian Kuat Tekan Beton Porous
Variabel Kontrol	<ol style="list-style-type: none"> 1. FAS 0,3. 2. Ukuran agregat kasar 0,5 sampai 1 cm. 3. Benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. 4. Cetakan dilepas sehari setelah pengecoran. 5. Perawatan benda uji beton direndam 7 hari di dalam air. 6. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 28 hari.
Variabel Bebas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penggunaan RCA dengan persentase komposisi berbeda yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. 2. Penggunaan metode pencampuran yang berbeda yaitu TSMA dan NMA.
Variabel Terikat	Kuat Tekan

Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan beton berbentuk silinder dengan variasi sampel sebagai berikut:

1. Faktor A = Komposisi RCA terhadap NCA.
2. Faktor C = Metode Pencampuran TSMA dan NMA.

Tabel 2. Faktor Benda Uji Kuat Tekan

Faktor	Taraf/Level	Keterangan
A (Komposisi RCA terhadap NCA)	a0	0%
	a1	25%
	a2	50%
	a3	75%
	a4	100%
B (Metode Pencampuran)	c0	NMA
	c1	TSMA

Tabel 3. Variasi Benda Uji Kuat Tekan

	a0	a1	a2	a3	a4
c0	a0c0	a1c0	a2c0	a3c0	a4c0
c1	a0c1	a1c1	a2c1	a3c1	a4c1

Proporsi Material

Proporsi material untuk penelitian ini mengacu pada standar ACI 522R-10 dengan kandungan udara yang disarankan 15% sampai 25%.

Tabel 4. Proporsi Material Beton Berpori (ACI 522R-10)

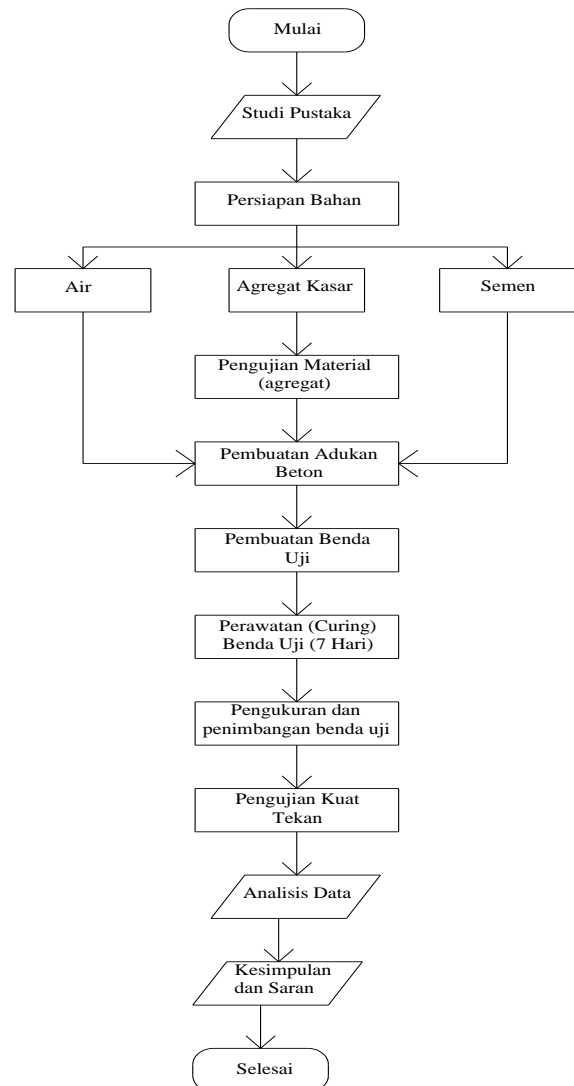
Material	Proporsi (kg/m ³)
Semen	270 – 415
Agregat	1190 -1480
*) Rasio air : semen	0,27 – 0,34
*) Rasio agregat : semen	4 – 4,5 : 1
*) Rasio pasir : agregat	0 – 1 : 1

*) Berdasarkan perbandingan berat

Dalam penelitian ini tidak digunakan pasir (agregat halus) sehingga rasio pasir : semen yaitu 0 : 1. Perbandingan untuk semen : air agregat yaitu 1 : 0,3 : 4.

Prosedur Penelitian

Pada metode NMA, semen, air dan agregat dicampur ke dalam mesin pencampur beton di saat yang sama, akan tetapi pada metode TSMA, air dan semen dibagi menjadi dua bagian yang proposional. 50% pasta semen yang sudah dibagi dicampurkan terlebih dahulu dengan RCA dan diaduk untuk beberapa saat untuk membentuk ITZ. 50% sisa pasta semen ditambahkan pada pencampuran akhir dengan NCA jika ada. Pada pencampuran ini pasta semen digunakan untuk mengikat agregat. Pada penelitian kuat tekan ini menggunakan cetakan benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Benda uji yang sudah dimasukkan dalam cetakan dibiarkan selama 24 jam. Perawatan (*curing*) dilakukan selama 7 hari dengan cara direndam. Kemudian beton *porous* akan diuji tekan pada umur beton 28 hari.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Agregat Kasar

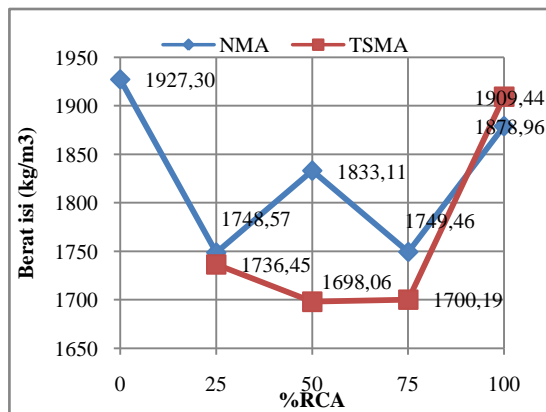
Tabel 5. Perbandingan Karakteristik Agregat Kasar

Karakteristik	NCA	RCA
Berat isi (kg/m^3)	1512,2	1463,41
Berat jenis	2,2997	2,474
Penyerapan air (%)	14,328	5,184%

Dari hasil pengujian berat isi diatas, didapatkan berat isi agregat kasar daur ulang (RCA) yaitu $1463,41 \text{ kg/m}^3$, dimana nilai ini lebih kecil dibandingkan berat isi agregat kasar alam yang mempunyai nilai $1512,2 \text{ kg/m}^3$. Berat isi agregat kasar pada penelitian ini lebih kecil dibandingkan dengan berat isi agregat kasar yang normalnya berkisar antara 2400 kg/m^3 sampai 2900 kg/m^3 .

Berat jenis SSD rata-rata agregat kasar daur ulang yaitu sebesar 2,474 lebih besar dibandingkan dengan berat jenis SSD rata-rata agregat kasar alam yang mempunyai nilai 2,299. Sedangkan penyerapan air agregat kasar daur ulang yaitu sebesar 5,184% lebih kecil dibandingkan dengan penyerapan air agregat kasar alam yang mempunyai nilai 14,328%. Dari hasil tersebut dapat diketahui karakteristik dan kualitas agregat kasar daur ulang lebih baik dibandingkan agregat kasar alam.

Berat Isi Beton Porous



Gambar 3. Grafik Rekapitulasi Berat Isi Rata-rata Silinder Beton Porous

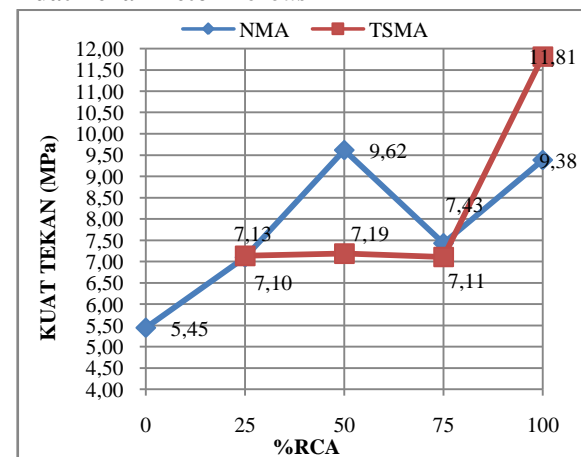
Berat isi rata-rata terbesar beton porous metode NMA didapatkan pada *mix design* a0c0 dengan campuran RCA sebesar 0%, dan rata-rata terkecil didapatkan pada *mix design* a1c0 dengan campuran RCA 25%. Pada pengecoran campuran RCA 0%, proses pemadatan menggunakan vibrator sehingga pematatannya menjadi sangat tinggi. Terjadi penurunan berat isi rata-rata dari campuran RCA 0% ke RCA 25%, dan kemudian meningkat pada *mix*

design a2c0 dengan campuran RCA 50%. Pada saat pengecoran campuran RCA 50%, agregat kasar daur ulang yang digunakan sebagian lebih besar dari batas 0,5 cm sampai 1 cm, sehingga agregat yang lebih kecil dapat mengisi rongga antar agregat yang lebih besar dan menyebabkan pematatannya meningkat. Berat isi rata-rata kemudian menurun pada *mix design* a3c0 dengan campuran RCA 75% dan meningkat kembali pada *mix design* a4c0 dengan campuran RCA 100% atau tanpa NCA.

Sedangkan berat isi rata-rata terbesar beton porous metode TSMA didapatkan pada *mix design* a4c1 dengan campuran RCA sebesar 100%, dan rata-rata terkecil didapatkan pada *mix design* a2c1 dengan campuran RCA 50%. Berat isi rata-rata a0c1 atau campuran RCA 0% tidak dimasukkan dalam analisis karena tidak menggunakan metode TSMA. Metode TSMA hanya digunakan pada campuran yang menggunakan RCA, sehingga benda uji a0c1 sama dengan a0c0. Dari grafik dapat terlihat bahwa terjadi penurunan berat isi rata-rata dari campuran RCA 25% ke campuran RCA 50% yang mempunyai berat isi paling kecil. Selanjutnya, berat isi rata-rata meningkat ke campuran RCA 75% hingga 100%.

Pada **Gambar 3** dapat dilihat perbedaan antara hasil berat isi rata-rata beton porous yang menggunakan NMA dan TSMA, akan tetapi pola grafik tidak menunjukkan hasil signifikan antara penggunaan NMA dan TSMA. Hal ini dapat disebabkan berbagai kekurangan antara lain ketidaktelitian pengecoran, penyusutan beton, faktor pemadatan, komposisi agregat yang kurang merata antara ukuran 0,5 cm sampai 1 cm, dan kualitas agregat kasar daur ulang (RCA) yang lebih baik dari agregat kasar alam (NCA). Berat isi beton umumnya akan berbanding lurus dengan kekuatan beton.

Kuat Tekan Beton Porous



Gambar 4. Grafik Rekapitulasi Kuat Tekan Rata-rata Silinder Beton Porous

Kuat tekan rata-rata terbesar beton *porous* dengan metode NMA didapatkan pada *mix design* a2c0 dengan campuran RCA 50% dan kuat tekan rata-rata terkecil didapatkan pada *mix design* a0c0 dengan campuran RCA 0%. Terlihat dari grafik bahwa terjadi peningkatan dari campuran RCA 0%, ke RCA 25% hingga maksimum di RCA 50%, kemudian menurun saat RCA 75% dan meningkat kembali pada RCA 100%. Pada *mix design* a0c0 dengan campuran RCA 0%, kualitas RCA yang lebih baik dari NCA menyebabkan kuat tekan a0c0 rendah. Penyerapan air agregat kasar alam yang lebih besar dari agregat kasar daur ulang menyebabkan rendahnya kuat tekan yang dihasilkan pada beton dengan campuran agregat kasar alam.

Sedangkan kuat tekan rata-rata terbesar beton *porous* dengan metode TSMA didapatkan pada *mix design* a4c1 dengan campuran RCA 100% dan kuat tekan rata-rata terkecil didapatkan pada *mix design* a3c1 dengan campuran RCA 75%. Terlihat dari grafik bahwa terjadi peningkatan dari campuran RCA 25% ke RCA 50% dan menurun pada RCA 75%, kemudian meningkat kembali hingga maksimum pada RCA 100%. Pada *mix design* a0c1 dengan campuran RCA 0%, hasil tidak dimasukkan dalam analisis karena tidak memakai metode TSMA. Metode TSMA hanya digunakan pada RCA, sehingga benda uji yang digunakan pada a0c1 sama dengan benda uji a0c0. Pada *mix design* a1c1, a2c1, dan a3c1 masing-masing memiliki campuran NCA 75%, 50% dan 25%. Penyerapan air agregat kasar alam yang lebih besar dari agregat kasar daur ulang menyebabkan rendahnya kuat tekan yang dihasilkan pada beton dengan campuran agregat kasar alam.

Pengecoran dengan metode berbeda, menghasilkan nilai kuat tekan yang berbeda pula. Pada **Gambar 4** dapat dilihat perbedaan antara kuat tekan beton *porous* dengan NMA dan TSMA, akan tetapi pola grafik tidak menunjukkan hasil yang signifikan antara penggunaan metode NMA dan TSMA. Selain pada campuran RCA 0%, grafik kuat tekan di atas menunjukkan pola yang sama dengan grafik berat isi beton *porous* pada campuran RCA 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hal ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton *porous* berbanding lurus dengan berat isinya. Pada penelitian ini, kuat tekan beton *porous* telah memenuhi standar ACI 522R-10 tentang beton *porous* yang kuat tekannya antara 2,8 Mpa sampai 28 Mpa. Dari grafik dapat dilihat pula metode TSMA meningkatkan kekuatan beton sekitar 2% sampai 8% pada campuran RCA 25% dan RCA 100%. Dari perbandingan NMA dan TSMA pada RCA 100%, TSMA terbukti meningkatkan kuat

tekan beton *porous*, karena semua agregat yang digunakan adalah agregat kasar daur ulang. Berbeda halnya dengan benda uji yang menggunakan campuran agregat kasar alam, nilai kuat tekan dipengaruhi oleh kualitas agregat yaitu penyerapan air agregat kasar alam yang lebih besar dari agregat kasar daur ulang, sehingga hasil yang diperoleh pun tidak signifikan.

Metode TSMA tidak berpengaruh pada campuran RCA 50% dan 75%, hal ini dapat disebabkan karena pada saat pengecoran dengan metode NMA, agregat kasar daur ulang yang digunakan sebagian lebih besar dari batas 0,5 cm sampai 1 cm, sehingga agregat yang lebih kecil dapat mengisi rongga antar agregat yang lebih besar. Sedangkan pada pengecoran dengan metode TSMA campuran RCA 50% dan 75%, agregat kasar daur ulang dan agregat kasar alam yang digunakan merata dari 0,5 cm sampai 1 cm, sehingga hasil yang didapat yaitu pada campuran RCA 50% dan RCA 75% metode NMA kuat tekannya lebih besar dibanding dengan TSMA. Selain itu, perbandingan hasil kuat tekan yang tidak signifikan juga dapat disebabkan ketidak telitian saat pengecoran dan faktor pemadatan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisis data serta pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Karakteristik dari agregat kasar alam (NCA) dan agregat kasar daur ulang (RCA) berpengaruh terhadap kuat tekan yang dihasilkan. Dari pengujian agregat kasar didapatkan nilai berat jenis agregat kasar daur ulang sebesar 2,474 lebih besar dibandingkan dengan berat jenis agregat kasar alam yang mempunyai nilai 2,299. Sedangkan nilai penyerapan air agregat kasar daur ulang sebesar 5,184% lebih kecil dibandingkan dengan agregat kasar alam yang mempunyai nilai penyerapan air sebesar 14,328%. Sehingga dapat diketahui bahwa agregat kasar daur ulang memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan agregat kasar alam dan menyebabkan peningkatan kuat tekan benda uji yang menggunakan agregat kasar daur ulang. Kuat tekan beton *porous* dengan penambahan jumlah agregat kasar daur ulang lebih besar dibandingkan dengan beton *porous* yang hanya menggunakan agregat kasar alam. Akan tetapi, hasil penelitian menunjukkan kadar persentase agregat kasar daur ulang yang digunakan tidak

- berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton *porous*. Selain disebabkan oleh kualitas agregat kasar daur ulang yang lebih baik dari agregat kasar alam, proses bagaimana pengecoran dan pemadatan, serta tidak meratanya komposisi agregat juga memengaruhi beragamnya hasil kuat tekan.
2. Hasil berat isi yang didapat menunjukkan pola yang sama dengan kuat tekannya, sehingga kuat tekan beton *porous* berbanding lurus dengan berat isinya. TSMA menunjukkan peningkatan kuat tekan sekitar 2% sampai 8% pada persentase RCA 25% dan RCA 100%. Dari perbandingan NMA dan TSMA pada RCA 100%, TSMA terbukti meningkatkan kuat tekan beton *porous*, karena semua agregat yang digunakan adalah agregat kasar daur ulang. Berbeda halnya dengan benda uji yang menggunakan campuran agregat kasar alam, nilai kuat tekan dipengaruhi oleh kualitas agregat yaitu penyerapan air agregat kasar alam yang lebih besar dari agregat kasar daur ulang, sehingga hasil yang diperoleh pun tidak signifikan.
 3. Berdasarkan hasil penelitian, pada beton *porous* yang menggunakan metode NMA, kuat tekan rata-rata tertinggi didapatkan pada persentase RCA 50% dengan nilai 9,62 Mpa sedangkan pada beton *porous* yang menggunakan metode TSMA kuat tekan tertinggi didapatkan pada persentase RCA 100% dengan nilai 11,81 Mpa. Sehingga nilai kuat tekan yang tertinggi yaitu pada komposisi RCA 100% dengan metode TSMA. Pengaruh terhadap kuat tekan yang tidak signifikan menyebabkan tidak dapat diperoleh komposisi optimum dari penggunaan RCA dengan metode TSMA dan NMA. Kuat tekan beton *porous* pada penelitian ini memenuhi standar ACI 522R-10 tentang beton *porous* yang kuat tekannya antara 2,8 Mpa sampai 28 Mpa.

SARAN

Untuk pengembangan lebih lanjut, adapun saran yang dapat diberikan sebagai perbaikan, adalah:

1. Kekurangan pada penelitian ini yaitu pemilihan NCA yang kualitasnya lebih rendah dari RCA, sehingga pengaruh persentase RCA dan metode TSMA tidak signifikan. Pada penelitian selanjutnya, diharapkan dapat menggunakan NCA yang kualitasnya lebih baik dari RCA.

2. Tiap *mix design* sebaiknya dibuat lebih dari 3 benda uji sehingga hasil rata-rata yang didapat lebih akurat.
3. Kesalahan-kesalahan pada saat pelaksanaan seperti kelebihan penambahan air dan ketidak telitian saat pengecoran harusnya dapat dihindari.
4. Proses pemadatan tiap benda uji sebaiknya dengan perlakuan yang sama dan sesuai dengan prosedur agar hasil yang didapat lebih signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 522. (2010). *Report on Pervious Concrete 522R-10*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- Arifi, E. (2015). *Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen Parsial Untuk Meningkatkan Performa Beton Agregat Daur Ulang*. *Rekayasa Sipil*. IX (3) 229-235.
- ASTM C-125 (1995). *Standard Definition of Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregate*. ASTM International.
- ASTM C-150 (1985). *Standard Specification for Portland Cement*. Annual Books of ASTM Standard.
- ASTM C-33 (2002). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. ASTM International.
- Ferguson, B. K. (2005). *Porous Pavements*. USA: Taylor and Francis Group.
- Nawy, E. G. (2008). *Beton Bertulang: Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT Refika Aditama.
- Suharwanto. (2005). *Perilaku Mekanik Beton Agregat Daur Ulang Aspek Material-Struktural*. Bandung: Perpustakaan ITB.
- Tam, W. Y. V., Gao, X. F. & Tam, C. M. (2005). *Microstructural Analysis Of Recycled Aggregate Concrete Produced From Two-Stage Mixing Approach*. *Cement and Concrete Research Journal*.
- Tam, W. Y. V., Tam, C. M., & Wang, Y. (2007). *Optimization on Proportion for Recycled Aggregate in Concrete Using Two-Stage Mixing Approach*. *Construction and Building Materials Journal*.