

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

**NASKAH PUBLIKASI  
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**IWAN FERNANDO SIMARMATA  
NIM. 135060101111056**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2017**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH METODE *TWO STAGE MIXING APPROACH* (T SMA)  
TERHADAP KUAT TARIK BELAH BETON *POROUS* DENGAN  
VARIASI KOMPOSISI AGREGAT KASAR DAUR ULANG (RCA)**

**NASKAH PUBLIKASI**

**TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**IWAN FERNANDO SIMARMATA**

**NIM. 135060101111056**

Naskah Publikasi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
Pada tanggal 7 Juli 2017

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Eva Arifi, ST, MT  
NIK. 201002 771203 2 001

Dr.Eng. Devi Nuralinah, ST., MT.  
NIP. 19761208 200604 2 001

Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.)  
NIP. 19810220 200604 1 002

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

*(Effect of Two Stage Mixing Approach (TSMA) Method on the Splitting Tensile Strength of Porous Concrete with Variation Composition of Recycled Coarse Aggregates (RCA))*

Iwan Fernando Simarmata, Eva Arifi, Devi Nuralinah  
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya  
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia  
Email: [iwansimarmata18@gmail.com](mailto:iwansimarmata18@gmail.com)

**ABSTRAK**

Penggunaan *paving* dari beton *porous* semakin banyak digunakan untuk mengurangi adanya gendangan air di permukaan jalan. Banyaknya limbah dari beton bangunan yang sudah dihancurkan menjadi masalah tersendiri sehingga muncul gagasan menggunakan agregat dari beton limbah sebagai pengganti agregat alam. Penggunaan agregat dari beton limbah pada umumnya menghasilkan beton dengan mutu rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan metode *Two Stage Mixing Approach* (TSMA) terhadap kuat tarik belah beton *porous*, dan menggunakan variasi komposisi agregat kasar daur ulang (RCA) terhadap agregat kasar alam (NCA).

Pada penelitian ini digunakan benda uji tarik belah berupa silinder beton *porous* dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi silinder 30 cm. Metode yang digunakan untuk pengecoran adalah metode *normal mixing approach* (NMA) dan metode *two stage mixing approach* (TSMA) dengan variasi komposisi RCA 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Untuk pembuatan beton *porous* campuran yang digunakan antara semen : agregat kasar : air adalah 1 : 4 : 0,3. Dan mutu *parent concrete* penghasil RCA adalah beton mutu K-175 – K-225.

Variasi komposisi RCA yang digunakan berpengaruh signifikan terhadap kuat tarik beton *porous*. RCA dengan kadar 50% dan menggunakan metode NMA menghasilkan kuat tarik belah tertinggi sebesar 1,4675 Mpa. Pada kadar RCA 25%, 75%, dan 100% benda uji metode TSMA memiliki kuat tarik belah lebih tinggi, dan kuat tarik belah tertinggi beton *porous* yang menggunakan metode TSMA adalah 1,3664 Mpa dengan kadar RCA 100%.

**Kata kunci :** beton *porous*, agregat kasar daur ulang, metode *two stage mixing approach*

**ABSTRACT**

*The use of paving from porous concrete was increasingly being used to reduce the presence of puddle on the road surface. The high amount of crushed building concrete waste are becoming issues that appears the idea of using recycled aggregates to replace the natural aggregates. The concrete that used recycled aggregates usually had lower quality. This experiment proposes to investigate the effect of two stage mixing approach (TSMA) on the splitting tensile strength of porous concrete, with variation composition of recycled coarse aggregate (RCA).*

*In this experiment used specimen of cylindrical concrete with 15cm in diameter and 30 cm in length. The method used for mixing were normal mixing aggregate (NMA) and two stage mixing approach (TSMA) with variation composition of RCA at 0%, 25%, 50%, 75% and 100%. Mix proportion used between cement : aggregate : water were 1 : 4 : 0,3. The quality of parent concretes that produce RCA were between K-175 to K-225.*

*Variations composition of RCA show significant influence on splitting tensile strength of porous concrete. Composition of 50% RCA with NMA method show the highest splitting tensile strength on 1,4675 Mpa. On 25%, 75%, and 100% of RCA the specimens that used TSMA method produce higher splitting tensile strength, and the highest splitting tensile strength of porous concrete that used TSMA method was 1,3664 Mpa on 100% RCA used.*

**Keyword :** porous concrete, recycle coarsed aggregate, two stage mixing approach method

## PENDAHULUAN

Beton sudah mulai dikenal oleh manusia sebagai bahan konstruksi sejak berabad yang lalu. Dimana semula beton hanya difungsikan sebagai bahan konstruksi untuk bangunan-bangunan saja. Namun lambat laun penggunaan beton mulai bervariasi. Baik untuk bahan struktural bangunan, jembatan, maupun jalan.

Dipohusodo (1993) menyatakan bahwa, beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung.

Untuk bidang transportasi beton juga dipergunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Bahan perkerasan dari beton disebut dengan perkerasan kaku. Sesuai dengan sifat beton yang memiliki kuat tekan yang tinggi, perkerasan dari beton sangat cocok dipergunakan untuk jalan yang dilalui oleh kendaraan besar dan berat. Sifat beton yang kedap air menjadi permasalahan perkerasan kaku, yaitu menimbulkan genangan dan mengurangi area resapan air. Hal ini mengurangi kenyamanan dan keselamatan berkendara, sehingga dibutuhkan bahan perkerasan kaku yang mampu mengalirkan secara cepat air dari permukaan jalan menuju kedalam tanah.

Beton *porous* merupakan beton dengan konsep yang hampir sama dengan beton konvensional, namun beton *porous* tidak menggunakan atau hanya menggunakan lebih sedikit agregat halus. Sehingga beton non-pasir juga menjadi salah satu sebutan untuk beton *porous*. Dengan tidak adanya agregat halus mengakibatkan beton memiliki lubang-lubang pori yang dapat dilalui oleh air. Beton *porous* diharapkan memiliki porositas yang tinggi dan permeabilitas yang baik. Sehingga dapat mengalirkan air ke dalam tanah.

Tingginya konsumsi penggunaan beton juga mengakibatkan banyaknya jumlah limbah beton. Limbah ini bersumber dari sisa bongkaran bangunan, maupun struktural bangunan yang rusak akibat bencana. Untuk menjaga kelestarian lingkungan perlu dilakukan daur ulang terhadap limbah beton tersebut menjadi agregat kasar daur ulang. Agregat hasil kasar daur ulang (*Recycled Coarse Aggregates/RCA*) tersebut dapat digunakan sebagai agregat untuk beton yang baru. Dengan ini diharapkan selain mengurangi limbah beton yang ada, juga dapat menghemat eksplorasi sumber daya alam.

Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan mutu dari RCA tidak sebaik agregat alami. Sehingga diperlukan perlakuan khusus sehingga beton yang menggunakan RCA memiliki kualitas yang tidak kalah baik dengan beton yang menggunakan agregat alami. *Two-Stage Mixing Approach* (T SMA) merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan kuat tekan beton yang menggunakan RCA. T SMA merupakan metode

dimana RCA dilapisi dengan pasta semen untuk meningkatkan kekuatannya. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa RCA memiliki retakan-retakan akibat proses penghancuran. Berdasarkan pengamatan terhadap sampel, menunjukkan retakan pada RCA ditutupi dan diperbaiki oleh pasta semen. Hal ini mengindikasikan T SMA merupakan metode yang efisien untuk meningkatkan kemampuan mikrostruktur RCA guna meningkatkan kuat tekan beton RCA (Movassaghi, 2006).

Untuk mengetahui mutu beton perlu dilakukan pengujian terhadap beton tersebut. Beberapa jenis pengujian pada beton seperti uji kuat tekan, uji kuat lentur, dan uji kuat tarik beton dan uji susut beton. Dalam perencanaan beton pada umumnya uji kuat tarik belah tidak diperhitungkan. Uji kuat tarik belah dapat dilakukan pada silinder beton yang dibebani secara horizontal (posisi memanjang) dengan menggunakan mesin compression testing machine. Spesimen di uji setelah berumur 28 hari. Data beban maksimum yang mampu ditahan beton akan diolah untuk menentukan kuat tarik belahnya..

Sebagai salah satu solusi perkerasan kaku yang ramah lingkungan dan mampu mengalirkan air secara cepat kedalam tanah, beton *porous* dengan agregat daur ulang (RCA) juga harus diketahui kuat tarik belahnya. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kuat tarik belah beton RCA yang mengalami perlakuan T SMA sehingga kedepannya menghasilkan beton *porous* yang berfungsi dengan baik sebagaimana mestinya.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Beton Porous

Beton *porous* atau beton berpori adalah elemen bahan bangunan ataupun perkerasan jalan yang terbuat dari campuran agregat kasar, air, semen dan dengan sedikit atau tanpa menggunakan agregat halus dimana beton ini akan memiliki lubang pori yang dapat dilewati oleh air sehingga memiliki permeabilitas yang cukup tinggi.

Beton *porous* sudah cukup lama digunakan. Sejak tahun 1800-an negara di Eropa sudah menggunakannya sebagai paving untuk permukaan jalan. Biaya pembuatan yang lebih murah dibanding beton biasa menjadi alasan warga Eropa menggunakannya.

Perkembangan beton *porous* sempat melambat. Sebelum perang dunia kedua (WW-II) penggunaan beton *porous* untuk struktural hanya sampai pada bangunan dua lantai. Setelah perang dunia kedua, penelitian, dan pengembangan beton *porous* berkembang cepat. Begitu juga untuk bahan perkerasan kaku jalan, beton *porous* menjadi salah satu konsep perkerasan yang ramah lingkungan. Beton porous yang mampu dilewati oleh air menjadi alasan utama pengembangan lapisan perkerasan kaku untuk jalan karena dengan mudahnya mengalirkan air akan menjaga permukaan jalan aman dari genangan

air sehingga jalan menjadi nyaman digunakan untuk berkendara baik dalam kondisi hujan maupun tidak.

### Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

RCA merupakan hasil dari beton-beton limbah (*parent concrete*) yang dihancurkan atau pun di pecahkan menjadi butiran-butiran dengan berbagai ukuran. Proses penghancuran ini mengakibatkan kerikil-kerikil yang sebelumnya menjadi agregat kasar untuk beton limbah tersebut mendapatkan tekanan. Penelitian-penelitian yang sebelumnya menunjukkan bahwa kemampuan RCA untuk menahan gilasan ataupun penghancuran cenderung lebih rendah dibanding dengan agregat alam. Hal ini disebabkan untuk menghasilkan RCA, agregat-agregat tersebut sudah mengalami penghancuran dari beton limbah menjadi butir-butir RCA (Padmini, 2009).

Meskipun memiliki mutu yang lebih rendah dibandingkan dengan agregat alam, namun RCA dapat menjadi alternatif pengganti agregat alam.

RCA pada umumnya memiliki nilai penyerapan yang lebih besar dibanding dengan natural agregat. Pada saat penghancuran beton limbah untuk menghasilkan RCA, ikatan antara natural agregat dengan mortar melemah dan memberi celah-celah pori untuk dilalui oleh air.

Penelitian yang dilakukan oleh A.K. Padmini pada tahun 2009 mendapatkan kesimpulan, absorpsi oleh agregat daur ulang dipengaruhi oleh tiga hal, yaitu :

1. Tipe agregat yang digunakan oleh beton limbah
2. Kekuatan beton limbah (*parent concrete*)
3. Ukuran maksimum agregat yang digunakan beton limbah.

### Two Stage Mixing Approach (TSMA)

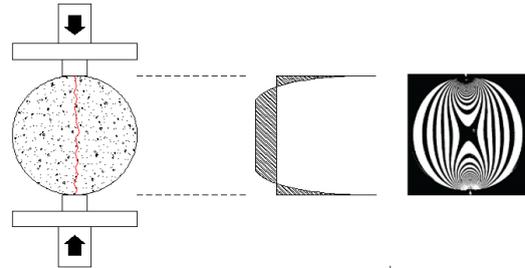
*Two stage mixing approach* (TSMA) adalah upaya meningkatkan kekuatan agregat dengan cara melapisi permukaan agregat dengan pasta semen sehingga terbentuk keseragaman dan kekuatan pada zona transisi antarmuka. Berdasarkan penelitian oleh Tam pada tahun 2007 menunjukkan penggunaan metode TSMA meningkatkan performa beton agregat kasar daur ulang sekitar 25% sampai 40%.

*Interfacial Transition Zone* (ITZ) antara agregat dan mortar memiliki peranan penting dalam penentuan kekuatan beton. Secara mikroskopis beton merupakan material komposit hasil pengikatan semen atas agregat-agregat yang dulunya terbagi atas butiran-butiran. Kuat ikatan yang dihasilkan oleh semen dipengaruhi oleh lapisan antar muka (ITZ) agregat yang akan saling dilekatkan. RCA memiliki ITZ yang lebih lemah sehingga memperkuat ITZ kemudian akan menghasilkan nilai kuat tekan beton yang lebih tinggi.

### Kuat Tarik Belah

Besar kuat tarik belah beton normal biasanya sekitar 9%-15% dari nilai kuat tekannya. Dari

beberapa jenis uji kuat pada beton, uji kuat tarik belah menghasilkan kerusakan yang paling mendekati dengan kerusakan lapangan pada pembuatan *paving* beton. Pengujian tarik belah dilakukan dengan menggunakan mesin CTM (*Compression Testing Machine*) yaitu memberikan beban terpusat pada sepanjang selimut beton *porous*. Kerusakan yang terjadi adalah silinder beton akan mengalami kerusakan berupa terbelah menjadi dua bagian.



Gambar 1. Skema pengujian dan gaya yang terjadi pada uji tarik belah

Dan besaran kuat tarik belah pada beton dapat dihitung dengan rumus :

$$fst = \frac{2P}{\pi D L}$$

Dimana :

- fst = kuat tarik belah
- P = beban maksimum (N)
- D = diameter benda uji
- L = tinggi silinder

## METODE PENELITIAN

### Material

Penelitian beton *porous* ini menggunakan agregat kasar daur ulang (RCA) hasil *crusher* dari silinder beton readymix dengan mutu K-175 – K225. Dan agregat kasar alam (NCA) yang berasal dari daerah kota Malang. Ukuran agregat kasar yang digunakan adalah 0,5-1cm. Hasil uji terhadap karakteristik agregat kasar daur ulang dan alam dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1.

Uji karakteristik agregat kasar alam dan daur ulang

Sifat	Berat jenis kering permukaan jenuh	Penyerapan (%)	Berat isi (Kg/m <sup>3</sup> )
*NCA	2,300	14,328	1512,195
*RCA	2,474	5,184	1463,415

\*NCA = Natural Coarse Aggregates

\*RCA = Recycled Coarse Aggregates

### Prosedur Penelitian

Untuk proporsi campuran pengecoran pada penelitian ini mengacu pada ACI 522R-10 mengenai campuran pada beton *porous*. Penelitian ini di tetapkan untuk tidak menggunakan agregat halus, dan nilai FAS yang digunakan adalah 0,3. Untuk mengetahui dampak penggunaan RCA, maka digunakan beberapa persentase yaitu sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap massa NCA. Dan untuk mengamati pengaruh metode TSMA, dilakukan dua metode pencampuran. Kemudian dilakukan perbandingan antara metode pencampuran normal (*Normal Mixing Approach*) atau metode pencampuran dua tahap (*Two Stage Mixing Approach*).

Proses pengecoran dengan metode NMA sama seperti dengan pengecoran yang digunakan pada umumnya. Sedangkan pengecoran dengan metode TSMA adalah membagi air menjadi dua bagian yang sama besar untuk proses pengecoran. Yang pertama dilakukan adalah memasukkan seluruh RCA dan seluruh NCA kedalam *mixer* setelah itu ditambahkan 50% air, kemudian ditambahkan seluruh semen, dan terakhir ditambahkan sisa 50% air.

Pembuatan benda uji tarik belah dibuat bersamaan dengan benda uji kuat tekan dan benda uji kuat lentur. Dan untuk proporsi campuran beton *porous* pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Ukuran benda uji yang digunakan sesuai ketentuan SNI 03-2491-2002 tentang pengujian tarik belah beton dengan ukuran diameter 15cm dan tinggi silinder 30cm.

Untuk perawatan beton *porous* sendiri dilakukan dengan cara direndam pada bak curing selama 7 hari. Setelah beton didiamkan pada cetakan beton selama 24 jam, cetakan beton dibuka lalu benda uji beton *porous* di rendam selama 7 hari. Setelah itu benda uji beton *porous* dikeluarkan dari bak curing dan diamkan pada ruang laboratorium hingga berumur 28 hari.

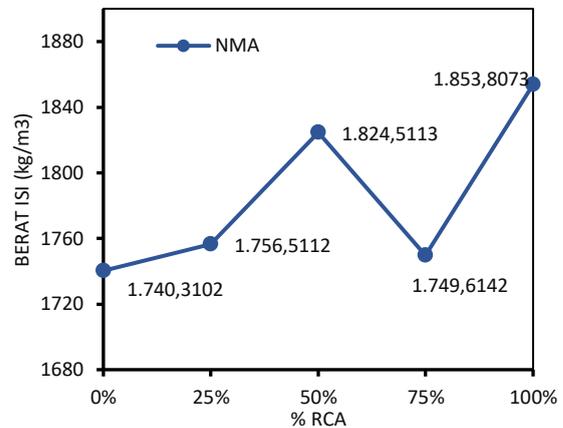
Pengujian terhadap benda uji beton *porous* dilakukan pada umur benda uji 28 hari. Alat yang digunakan untuk uji tarik belah adalah *Compression Testing Machine*.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui dampak persentase RCA yang digunakan serta pengaruh penggunaan metode TSMA, pengamatan dilakukan terhadap berat isi dan kuat tarik belah beton *porous*.

#### Berat Isi Beton Porous

Pada **Gambar 2** dan **Gambar 3** menunjukkan hubungan persentase RCA dengan berat isi beton *porous*. Berat isi beton *porous* berpengaruh terhadap performa beton *porous* sendiri. Semakin tinggi berat isi beton *porous* menunjukkan semakin tinggi kerapatan antar rongga sehingga kuat tarik belah beton *porous* tersebut akan semakin tinggi.



**Gambar 2.** Berat isi beton *porous* dengan metode NMA

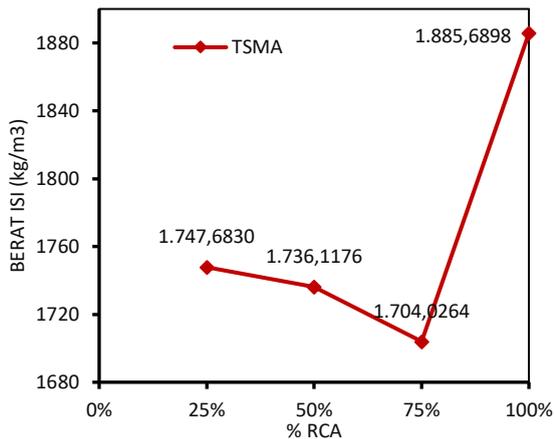
**Tabel 2.**

Proporsi campuran dan metode pelaksanaan beton *porous*

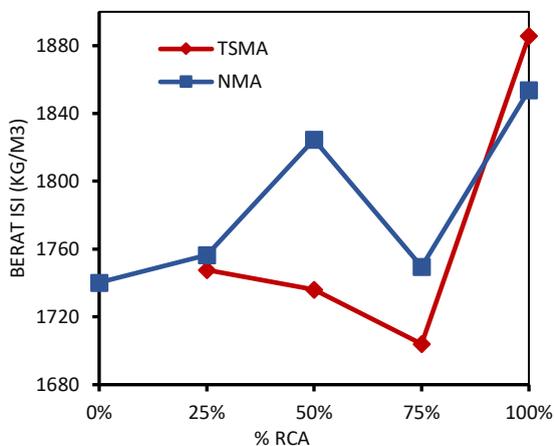
%RCA	Mix Design	NCA	RCA	Agregat	Semen	Air	Metode
		(kg)	(kg)	(kg)			
		[A]	[B]	A + B	(kg)	(kg)	
0%	A0C0/A0C1	102,4	0,0	102,4	25,6	7,7	*NMA
25%	A1C0	76,8	25,6	102,4	25,6	7,7	*NMA
50%	A2C0	51,2	51,2	102,4	25,6	7,7	*NMA
75%	A3C0	25,6	76,8	102,4	25,6	7,7	*NMA
100%	A4C0	0,0	102,4	102,4	25,6	7,7	*NMA
25%	A1C1	76,8	25,6	102,4	25,6	7,7	*TSMA
50%	A2C1	51,2	51,2	102,4	25,6	7,7	*TSMA
75%	A3C1	25,6	76,8	102,4	25,6	7,7	*TSMA
100%	A4C1	0,0	102,4	102,4	25,6	7,7	*TSMA

\*NMA = Normal Mixing Approach

\*TSMA = Two Stage Mixing Approach



**Gambar 3.** Berat isi beton *porous* dengan metode TSMA



**Gambar 4.** Perbandingan berat isi beton *porous* yang menggunakan metode NMA dan TSMA

Grafik pada **Gambar 4** menunjukkan berat isi beton *porous* dengan menggunakan metode NMA cenderung lebih besar dibandingkan dengan menggunakan metode TSMA. Namun untuk tiap-tiap jenis metode pengecoran, berat isi terbesar didapat pada penggunaan RCA 100% yaitu, 1853,8073 kg/m<sup>3</sup> pada benda uji NMA, dan 1885,6898 kg/m<sup>3</sup> pada benda uji TSMA.

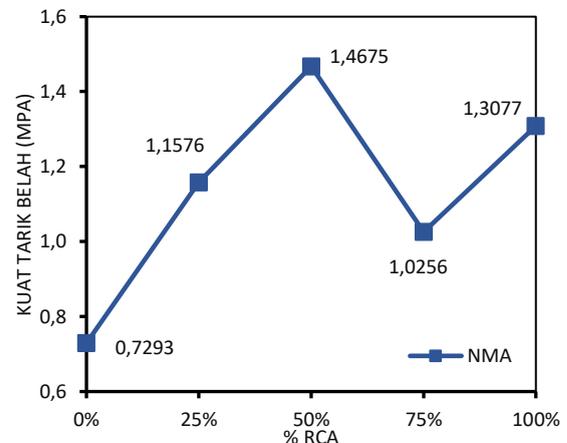
#### Hasil Kuat Tarik Belah Beton *Porous*

Kuat tarik belah beton *porous* didapatkan setelah pengujian dilakukan terhadap beton *porous* yang berumur 28 hari.

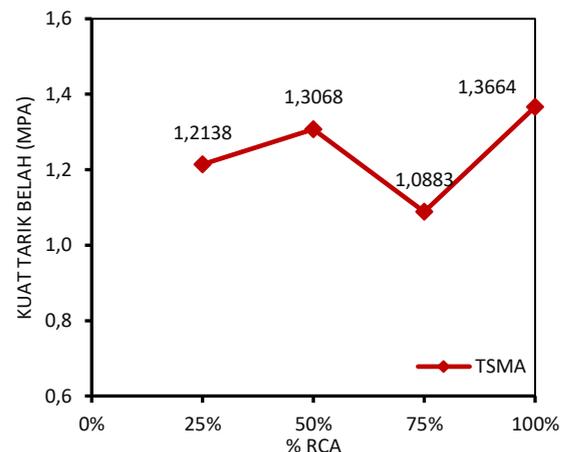
Hubungan antara persentase RCA dan kuat tarik belah beton *porous* dapat diamati pada **Gambar 5**, **Gambar 6**, dan **Gambar 7**.

Hasil menunjukkan kuat tarik belah beton *porous* paling tinggi sebesar 1,4675 Mpa yaitu pada benda uji dengan metode NMA dan persentase RCA 50%. Namun grafik menunjukkan kuat tarik belah dengan metode TSMA cenderung lebih tinggi dibanding benda uji yang menggunakan metode NMA. Pada kadar persentase 25%, 75%, dan 100% kuat tarik belah beton *porous* yang menggunakan

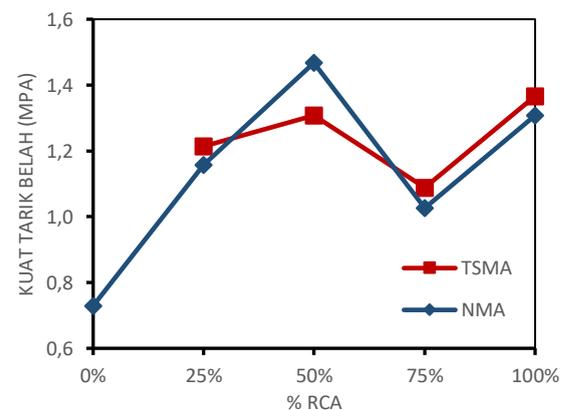
metode TSMA terbukti lebih tinggi. Hasil kuat tarik belah tertinggi dengan menggunakan metode TSMA adalah sebesar 1,3664 Mpa dengan kadar RCA sebesar 100%.



**Gambar 5.** Kuat tarik belah beton *porous* dengan menggunakan metode NMA



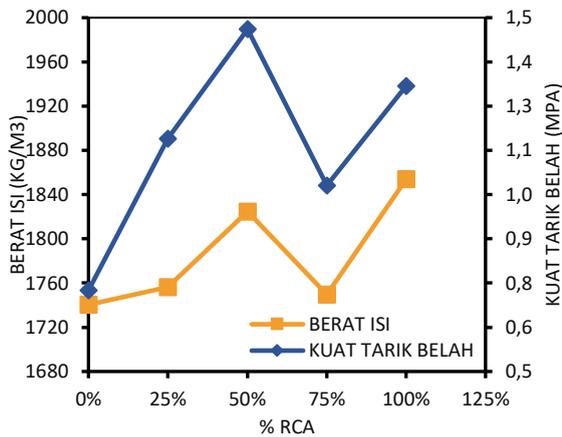
**Gambar 6.** Kuat tarik belah beton *porous* dengan menggunakan metode TSMA



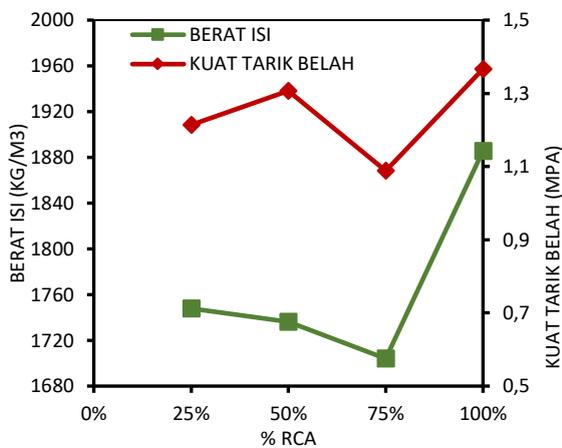
**Gambar 7.** Perbandingan kuat tarik belah beton *porous* yang menggunakan metode NMA dan TSMA

### Hubungan Berat Isi dan Kuat Tarik Belah Beton Porous

Berat isi berkaitan erat dengan performa beton, dengan begitu perlu diamati hubungan antara kuat tarik belah beton porous dengan berat isinya. Pada **Gambar 8** dan **Gambar 9** menunjukkan bahwa kuat tarik belah dan berat isi memiliki pola grafik yang sama. Sehingga terbukti bahwa berat isi beton porous berpengaruh terhadap kuat tarik belah beton porous tersebut.



**Gambar 8.** Hubungan antara berat isi dan kuat tarik belah beton porous dengan metode NMA



**Gambar 9.** Hubungan antara berat isi dan kuat tarik belah beton porous dengan metode TSMA

### Pembahasan

Setelah melakukan pengamatan terhadap kuat tarik belah, dan berat isi beton porous, juga dilakukan pengamatan terhadap karakteristik mekanik agregat kasar yang digunakan. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran yang lebih detail mengenai pengaruh agregat kasar daur ulang terhadap performa beton porous itu sendiri.

Berdasarkan hasil uji terhadap karakteristik mekanik yaitu berat jenis, penyerapan dan berat isi pada agregat kasar daur ulang ternyata RCA memiliki penyerapan yang lebih rendah dibanding dengan NCA, dan NCA memiliki nilai berat isi yang lebih tinggi daripada RCA sehingga perubahan kadar RCA

dan NCA yang digunakan tentunya akan berpengaruh terhadap nilai kuat tarik belah beton porous tersebut.

Pada benda uji dengan kadar RCA 50% yaitu A2C0 dan A2C1 nilai berat isi dan kuat tarik belah cenderung meningkat dikarenakan kadar RCA dan NCA yang digunakan sama. Dimana pada benda uji ini, RCA dengan nilai penyerapan yang lebih rendah dan berat isi lebih rendah akan saling melengkapi dengan NCA yang memiliki penyerapan lebih tinggi namun berat isinya lebih tinggi. Jika dibandingkan dengan benda uji lain misalnya pada benda uji dengan RCA 0% dan 25%, maka faktor air bebas untuk proses hidrasi akan terpengaruh oleh NCA dikarenakan penyerapan NCA yang tinggi, dan pada kadar RCA 75% dan 100% berat isi RCA yang akan lebih mempengaruhi performa beton porous tersebut.

Metode TSMA mampu memperbaiki karakteristik mekanik beton porous sehingga pada kadar 25%, 75%, dan 100% metode TSMA memiliki kuat tarik belah yang lebih tinggi. Hal ini memberi gambaran bahwa metode TSMA mampu meningkatkan kuat tarik belah beton porous. Dengan kondisi batas tertentu pada berat isi yang lebih rendah bahkan performa beton porous dengan metode TSMA menunjukkan hasil yang lebih baik.

### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan terhadap beton porous ini, berikut diambil kesimpulan hasil penelitian :

1. Kadar persentase RCA yang digunakan dalam pembuatan beton porous berpengaruh signifikan terhadap kuat tarik belah beton porous. Semakin tinggi persentase RCA yang digunakan semakin tinggi kuat tarik belahnya. Hal ini dikarenakan penyerapan RCA yang digunakan lebih rendah dibanding penyerapan NCA, sedangkan berat isi NCA lebih besar dibanding dengan berat isi RCA. Baik pada benda uji yang menggunakan metode NMA maupun TSMA grafik kuat tarik belah cenderung meningkat seiring dengan peningkatan persentase RCA yang digunakan. Jika dibandingkan dengan hasil pengujian pada benda uji yang menggunakan metode NMA dan TSMA didapati metode TSMA tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tarik belah beton porous. Hasil nilai kuat tarik belah tertinggi dengan penggunaan metode TSMA didapat sebesar 1,3664 Mpa dengan kadar RCA 100%. Meskipun pada kadar RCA 25%, 75%, dan 100%, nilai kuat tarik belah benda uji metode TSMA menunjukkan hasil yang lebih baik namun bukan merupakan hasil nilai kuat tarik belah tertinggi pada penelitian ini.
2. Berdasarkan pengujian, didapatkan nilai kuat tarik belah terbesar adalah 1,465 Mpa dengan kadar RCA 50% dan menggunakan metode NMA. Dan nilai kuat tarik belah terendah senilai 0,7293 Mpa dengan kadar RCA 0% dan menggunakan

- metode NMA. Sedangkan untuk metode TSMA hasil nilai kuat tarik belah tertinggi didapat sebesar 1,3664 Mpa dengan kadar RCA 100%. Kombinasi antara persentase kadar RCA dengan metode TSMA menghasilkan nilai kuat tarik belah paling maksimal pada benda uji dengan kadar RCA 100%. Namun masih perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan proses pelaksanaan yang lebih terstruktur untuk mendapatkan komposisi optimal yang sebenarnya antara kadar RCA dan metode TSMA untuk pembuatan beton porous.
3. Karakteristik mekanik agregat kasar alam (NCA) dan agregat kasar daur ulang (RCA) berpengaruh terhadap berat isi dan kuat tarik belah beton porous. Pada penelitian ini penyerapan RCA yang digunakan lebih rendah dibanding penyerapan NCA, dapat dilihat dari nilai rata-rata penyerapan NCA sebesar 14,328% dan tidak memenuhi ASTM-33 yang harusnya hanya berkisar 0,2%-4%. Sedangkan nilai rata-rata penyerapan RCA yang digunakan pada pembuatan benda uji sebesar 5,184%. Sedangkan nilai berat isi NCA lebih baik dibanding dengan RCA yaitu 1512,195 kg/m<sup>3</sup> berbanding dengan 1463,415 kg/m<sup>3</sup>. Sehingga semakin tinggi persentase RCA ataupun NCA yang digunakan akan berbeda hasil kuat tarik belahnya. Terbukti pada kadar RCA dan NCA yang sama yaitu 50% antara NCA dan RCA akan saling melengkapi baik dari berat isi dan penyerapan, sehingga menghasilkan kuat tarik belah yang paling tinggi.
- Departemen Pekerjaan Umum RI. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Houben, L. J. M., van der Kreeft S. G., dan Lewis M. (1984). *Specifications and Standards for Concrete Paving Blocks a World-Wide Survey Based on an Inquiry by the Programme Committee CBP*. Delft. NA
- Jeong, Hyungu. (2011). *Processing And Properties Of Recycled Aggregate Concrete*. Illinois.
- Movassaghi, Ramtin (2006). *Durability of Reinforced Concrete Incorporating Recycled Concrete as Aggregate (RCA)*. Ontario.
- Padmini A.K., K. Ramamurthy, M.S. Mathews. (2009). *Influence Of Parent Concrete On The Properties Of Recycled Aggregate Concrete*. India.
- Purwanto, dan Yulita A. P. (2008). *Testing of Concrete Paving Blocks the BS EN 1338:2003 British and European Standard Code*. Semarang : TEKNIK
- Sjafe'i, Amri. (2005). *Teknologi Beton A-Z*. Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia
- Tam, Vivian W. Y., X. F. Gao dan C. M. Tam. (2007). *Micro-Structural Analysis Of Recycled Aggregate Concrete Produced From Two-Stage Mixing Approach*. Hong Kong

## DAFTAR PUSTAKA

- Arifi, E (2015). *Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen Parsial untuk Meningkatkan Performa Beton Agregat Daur Ulang*. Malang : Rekayasa Sipil
- ASTM, ASTM C-125 (2001). *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*. United States.
- ASTM, ASTM C-33 (2001). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. United States.
- Departemen Pekerjaan Umum, SNI 03-2491-2002. (2002). *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional
- Departemen Pekerjaan Umum, SNI 03-2834-2000 (2000). *Tata Cara Rencana Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum, SNI 15-2049-2004. (2004). *Semen Portland*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum, SNI 15-0302-2004. (2004). *Semen Portland Pozzolan*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Dipohusodo, I. (1993). *Struktur Beton Bertulang, Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03*