

PEMANFAATAN *FLY ASH* SEBAGAI PENGGANTI SEMEN PARSIAL UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA BETON AGREGAT DAUR ULANG

Eva Arifi

Dosen / Jurusan Teknik Sipil / Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono No. 167 Malang, 65145, Jawa Timur
Korespondensi : eva_arifi@yahoo.co.id

ABSTRAK

Telah umum diketahui bahwa *fly ash* sebagai sisa pembakaran batu bara banyak dipakai sebagai material pengganti semen pada produksi beton. Oleh karena itu, untuk mendukung pembangunan konstruksi yang berkelanjutan, pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai pengganti semen dalam beton yang terbuat dari agregat daur ulang perlu diselidiki. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton yang terbuat dari agregat kasar daur ulang memiliki kekuatan yang sama dengan beton yang terbuat dari agregat kasar alami, sedangkan penggunaan *fly ash* pada beton yang terbuat dari agregat daur ulang terbukti dapat mengurangi susut pengeringan beton. Pada penelitian ini juga diterapkan *Two-Stage Mixing Approach* (TSMA) untuk memproduksi beton agregat daur ulang dengan tujuan meningkatkan kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah beton.

Kata kunci: *fly ash*, agregat daur ulang, susut pengeringan, *Two-Stage Mixing Approach*

1. PENDAHULUAN

Saat ini rata-rata produksi beton dunia telah mencapai sekitar 6 miliar ton per tahun, dan 40% dari semua limbah industri konstruksi dan limbah bongkaran. Pemanfaatan agregat daur ulang akan mengurangi penggunaan sumber daya alam dan meminimalkan pembuangan limbah. Apalagi fakta membuktikan bahwa agregat merupakan sumber daya alam yang paling banyak dikonsumsi di dunia (Sakai, 2009). Melalui daur ulang, limbah beton dapat diubah menjadi sebuah sumber daya (Marinkovic et al., 2010). Oleh karena itu, untuk mendukung pelestarian lingkungan, penggunaan agregat daur ulang dalam produksi beton merupakan isu penting. Namun, karena kualitas yang lebih rendah dibandingkan dengan agregate alami, agregat daur ulang hanya terbatas pada aplikasi kelas rendah (Tam et al., 2007). Keterbatasan pemanfaatan agregat daur ulang disebabkan karena agregat ini mengandung mortar dari beton asli yang

membuatnya lebih berpori dan memiliki daya serap yang tinggi dibanding dengan agregat alami. Hal ini menyebabkan susut pengeringan dan rangkai beton meningkat secara signifikan dengan penggunaan agregat daur ulang (Mc Govern, 2002).

2. STUDI PUSTAKA

Sejumlah penelitian telah mencatat pengaruh penggunaan *fly ash* pada beton. *Fly ash* sebagai pengganti semen berdampak positif pada daya tahan dan workability beton (Naik et al., 1991). Jatale et al., 2013 melaporkan bahwa penggunaan *fly ash* meningkatkan kemampuan kerja beton, sedangkan laju perkembangan kekuatan dipengaruhi oleh faktor air semen (*w/c ratio*) dan persentase *fly ash* dalam campuran beton. Selain itu, *fly ash* beton dapat mengurangi susut pengeringan pada beton dengan kelas yang sama jika perbandingan air dan pengikat (*water-to-binder ratio*) disesuaikan (Nath et al., 2013). Pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan

pengganti semen dapat mengurangi emisi CO₂ dari produksi semen, sehingga memberikan kontribusi dalam mendukung penciptaan pembangunan yang berkelanjutan.

Mengingat kualitas agregat daur ulang yang rendah, Tam et al., 2005 mengusulkan metode *Two-Stage Mixing Approach* (TSMA) untuk meningkatkan kekuatan beton agregat daur ulang. Agregat didaur ulang awalnya dilapisi dengan pasta semen untuk meningkatkan keseragaman dan kekuatan pada zona transisi antar muka. Dalam metode ini, proses pencampuran beton dibagi menjadi dua bagian. Air yang diperlukan secara proporsional dibagi dua bagian dan ditambahkan pada waktu pencampuran yang berbeda. Air awal digunakan untuk pembentukan lapisan tipis bubuk semen pada permukaan agregat daur ulang untuk mengisi retakan lama dan void yang terjadi selama proses penghancuran beton (Tam et al., 2005). Metode ini telah meningkatkan sekitar 25-40% kekuatan beton agregat daur ulang. TSMA telah terbukti menjadi metode yang efektif untuk meningkatkan daya tahan beton agregat daur ulang (Tam et al. 2007). Selain itu, proses pencampuran beton tahap awal dengan pemberian air untuk mengisi pori-pori agregat daur ulang memberikan pengaruh besar terhadap kekuatan dan penyusutan beton agregat daur ulang dengan dua-tahap metode pencampuran (Jeong, 2011).

Dalam usaha mengoptimalkan pemanfaatan agregat daur ulang, studi pada beton *fly ash* yang terbuat dari agregat daur ulang dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan prospek yang menjanjikan dengan adanya peningkatan kekuatan dan pengurangan susut pengeringan beton agregat daur ulang dengan *fly ash* sebagai pengganti semen parsial.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Material

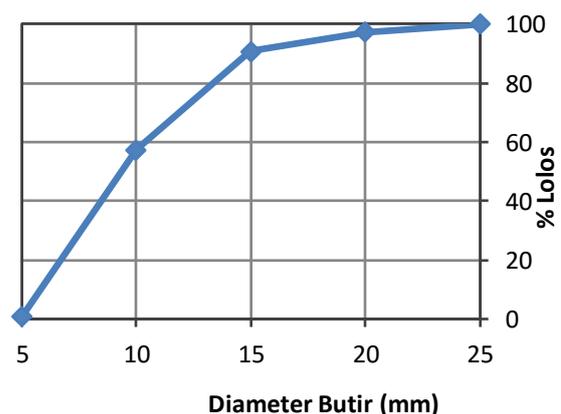
3.1.1 Agregat

Pada penelitian ini, agregat kasar daur ulang diperoleh dari proses penghancuran limbah beton dengan menggunakan teknologi *pulse power*. Untuk menghasilkan agregat kasar daur ulang, energi listrik yang diberikan sebesar 6,4 kJ untuk 180 kali untuk setiap 10 kg limbah beton. Karakteristik agregat alami dan agregat daur ulang yang digunakan dalam penelitian tercantum dalam **Tabel 1**.

Tabel 1. Sifat-sifat agregat kasar

Sifat	Berat jenis kering oven (gr/cm ³)	Daya serap air (%)
Agregat alami	3,01	0,63
Agregat daur ulang	2,73	2,64

Agar dapat memberikan hasil yang seimbang, dalam studi ini agregat kasar alami diatur agar memiliki distribusi ukuran yang sama seperti agregat kasar daur ulang. Distribusi ukuran agregat kasar daur ulang dan alami yang digunakan ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 1. Gradasi agregat kasar

3.1.2 Binder (Semen dan Fly Ash)

Fly ash yang digunakan sebagai pengganti sebagian adalah Portland blast-furnace slag semen. Sifat dari *fly ash* jenis ini diberikan dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Sifat-sifat *fly ash*

Parameter	Nilai
SiO ₂	56.6%
Hygroscopic moisture	0.2%
ig. Loss	1.2%
Density	2.36 g/cm ³
residue on sieve of 45µm	3%
specific surface (by Blaine)	4190 cm ² /g
percent flow	106%
Activity index (at 28 day)	92%
Activity index (at 91 day)	105%
methylene blue absorption	0.22 mg/g

3.2 Prosedur Penelitian

Proporsi campuran (*mix proportion*) dan metode pencampuran beton pada penelitian ini diberikan dalam **Tabel 3**. Untuk semua kasus, rasio air terhadap pengikat (*w/b ratio*) yang digunakan ditetapkan sebesar 55%. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan agregat daur ulang, maka dalam penelitian ini agregat daur ulang digunakan untuk

menggantikan 100% agregat kasar alami. Penggunaan semen digantikan oleh *fly ash* dengan persentase 0%, 25%, dan 50% terhadap massa semen. *Two-Stage Mixing Approach* (TSMA) juga dilakukan untuk menyelidiki kinerja beton yang terbuat dari agregat daur ulang. Dalam TSMA, air yang diperlukan dalam proses pencampuran beton dibagi secara proporsional dan ditambahkan pada saat pencampuran yang berbeda. Pertama 50% dari air dicampur dengan pasir dan daur ulang agregat kasar, kemudian sisa air ditambahkan bersama dengan semen dalam proses pencampuran akhir.

Benda uji silinder dengan diameter 100 mm dan tinggi 200 mm digunakan untuk menyelidiki kuat tekan dan kuat tarik sesuai ISO 1920-8: 2009 (E), sedangkan benda uji balok dengan dimensi 100 mm x 100 mm x 400 mm disiapkan untuk menyelidiki susut pengeringan beton sesuai dengan ISO 1920-8: 2009 (E). Perawatan spesimen dilakukan sesuai dengan ISO 1920-3: 2004 (E) setelah beton dikeluarkan dari cetakan. Perawatan beton pada benda uji silinder dilakukan sampai pada saat beton akan diuji pada usia 7, 28, 56 dan 112 hari, sementara untuk benda uji balok perawatan beton dilakukan selama 7 hari sebelum perhitungan uji susut pengeringan beton dimulai.

Tabel 3. *Mix proportion* dan metode pencampuran beton

Benda uji	NN0	NN25	NN50	RN0	RN25	RN50	RT0	RT25	RT50
Air (kg/m ³)	186	186	186	186	186	186	186	186	186
Semen (kg/m ³)	338.1	253.6	169.0	338.1	253.6	169.0	338.1	253.6	169.0
<i>Fly ash</i> (%)	0	25	50	0	25	50	0	25	50
<i>Fly ash</i> (kg/m ³)	0	84.5	169.0	0	84.5	169.0	0	84.5	169.0
*AKA (kg/m ³)	1061.8	1061.8	1061.8	0	0	0	0	0	0
*AKDU (kg/m ³)	0	0	0	959.5	959.5	959.5	959.5	959.5	959.5
Pasir (kg/m ³)	741.7	741.7	741.7	741.7	741.7	741.7	741.7	741.7	741.7
Metode pencampuran	*NMA	NMA	NMA	NMA	NMA	NMA	*TSMA	TSMA	TSMA

*AKA = Agregat kasar alami

*NMA = *Normal Mixing Approach*

*AKDU = Agregat kasar daur ulang

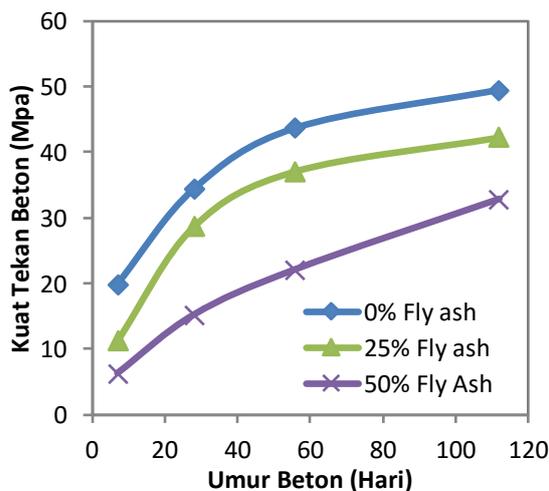
*TSMA = *Two-Stage Mixing Approach*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

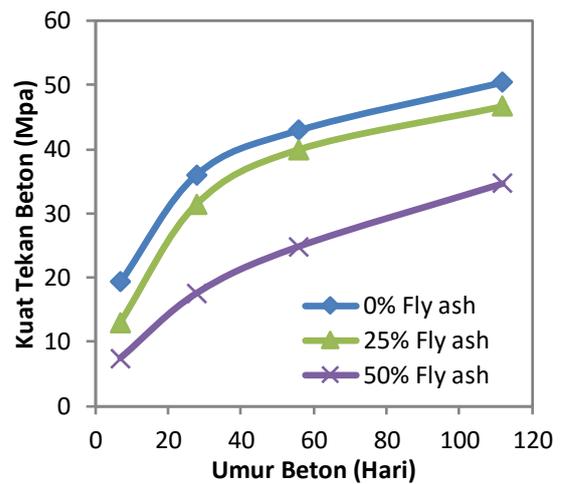
4.1 Uji Kuat Tekan Beton

Pengaruh pemanfaatan *fly ash* sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan beton baik yang terbuat dari agregat kasar alami dan daur ulang dijelaskan pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**. Kedua gambar tersebut menunjukkan bahwa kuat tekan beton menurun dengan meningkatnya penggunaan *fly ash* digunakan sebagai pengganti semen tanpa penyesuaian rasio w/b.

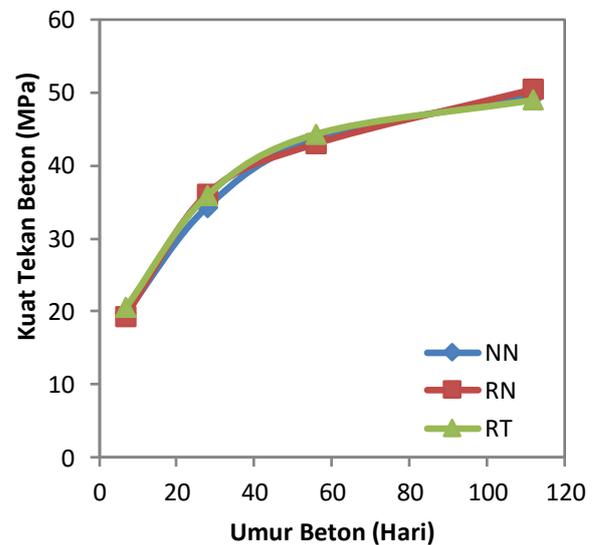
Dalam kekuatan 28-hari, beton agregat kasar alam dengan 25% *fly ash* telah mencapai 83,4% dari kekuatan spesimen kontrol, sedangkan 50% *fly ash* hanya mencapai 44,2% dari kekuatan spesimen kontrol. Untuk beton yang terbuat dari agregat daur ulang 25% *fly ash* sebagai pengganti semen mencapai 87,3% dari kekuatan beton agregat daur ulang tanpa *fly ash*, sedangkan 50% *fly ash* mencapai 48% 0,7% dari kekuatan beton daur ulang tanpa *fly ash* untuk kuat tekan beton 28-hari. Fakta-fakta ini menunjukkan bahwa 25% *fly ash* sebagai pengganti semen mengurangi kuat beton kurang sampai dengan 20%, sedangkan 50% *fly ash* untuk menggantikan semen mengurangi lebih dari setengah dari kekuatannya pada umur 28 hari.



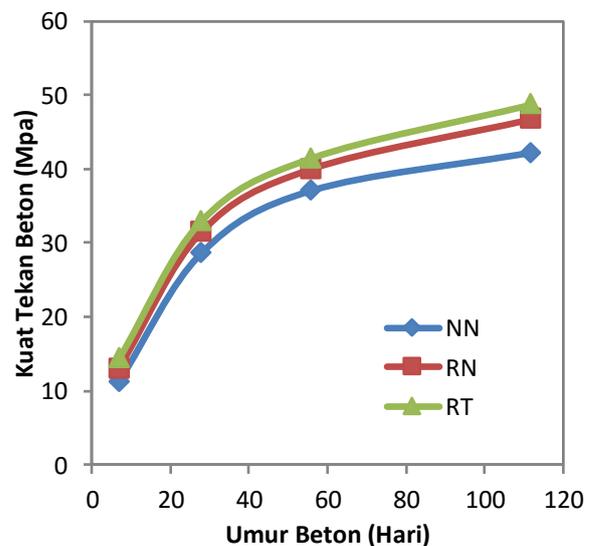
Gambar 2. Kuat tekan beton agregat alami



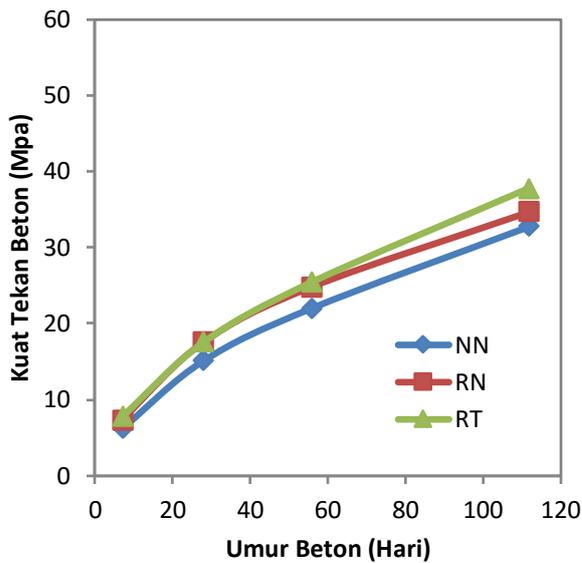
Gambar 3. Kuat tekan beton agregat daur ulang



Gambar 4. Kuat tekan beton 0% FA



Gambar 5. Kuat tekan beton 25% FA



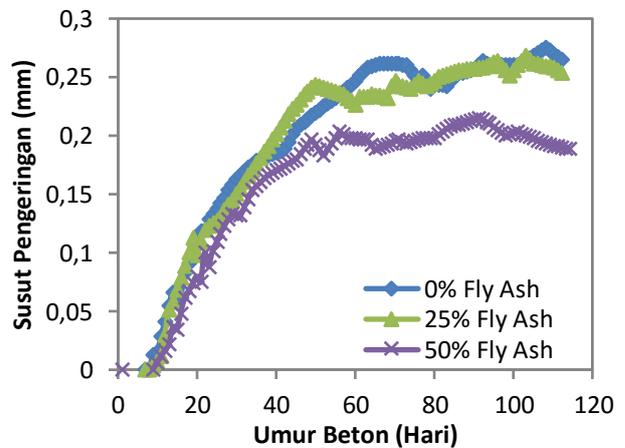
Gambar 6. Kuat tekan beton 50% FA

Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan pengaruh pendekatan pencampuran yang berbeda terhadap kuat tekan beton. Gambar 4 menunjukkan bahwa kuat tekan beton yang terbuat dari agregat daur ulang dengan NMA dan TSMA mempunyai kekuatan yang hampir sama dengan beton yang terbuat dari agregat kasar alam tanpa *fly ash*. Selain itu, Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan bahwa beton daur ulang dengan kadar *fly ash* yang sama dengan metode TSMA menunjukkan perbaikan kuat tekan dibandingkan dengan beton agregat daur ulang dengan NMA. Ini menjelaskan bahwa TSMA meningkatkan kuat tekan beton agregat daur ulang.

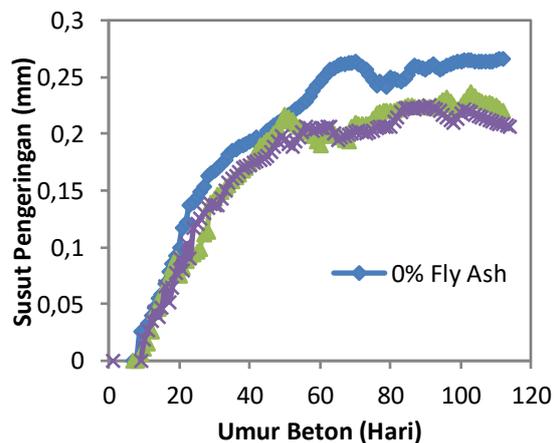
4.2 Susut Pengeringan Beton

Pengukuran susut pengeringan beton dimulai sejak beton berumur 7 hari dan dicatat setiap hari sampai 28 hari, kemudian terus mencatat dua kali seminggu sampai usia beton mencapai 112 hari. Gambar 8 dan Gambar 9 menjelaskan pengaruh *fly ash* terhadap susut pengeringan beton yang terbuat dari agregat kasar alam, daur ulang agregat kasar dengan pendekatan pencampuran normal (NMA). Gambar 8 menunjukkan bahwa penggunaan 25% *fly ash* pada beton

agregat alami tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap susut pengeringan beton, sedangkan *fly ash* 50% secara signifikan mengurangi susut pengeringan. Pada beton agregat daur ulang, penggunaan *fly ash* menunjukkan pengurangan susut pengeringan dibandingkan dengan beton tanpa *fly ash*, meskipun 25% dan 50% *fly ash* tidak menunjukkan perbedaan pengurangan susut pengeringan beton secara signifikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.

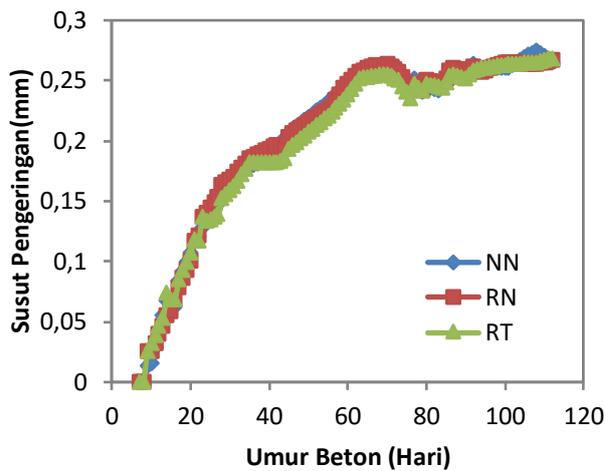


Gambar 8. Susut pengeringan beton agregat alami

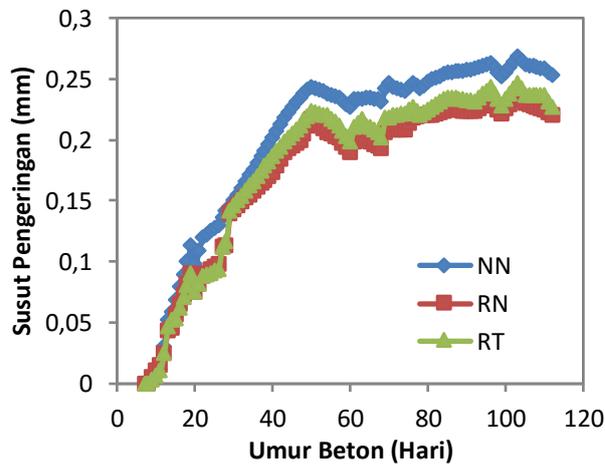


Gambar 9. Susut pengeringan beton agregat daur ulang

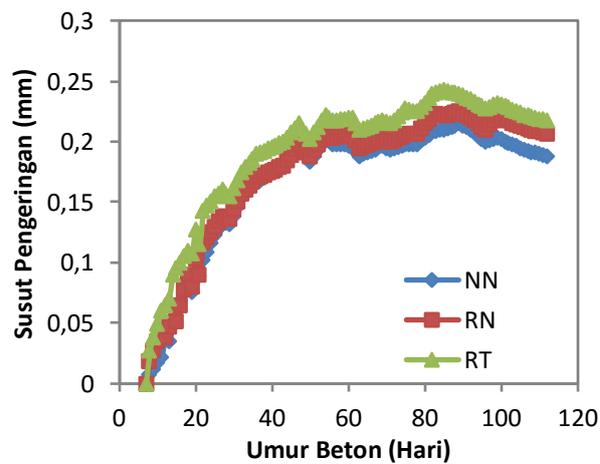
Pengaruh penggunaan metode pencampuran dengan TSMA terhadap susut pengeringan beton dijelaskan masing-masing pada Gambar 10, Gambar 11 dan Gambar 12 pada kadar *fly ash* yang sama.



Gambar 10. Susut pengerangan beton 0% FA



Gambar 11. Susut pengerangan beton 25% FA



Gambar 12. Susut pengerangan beton 50% FA

Gambar 10 menunjukkan susut pengerangan yang mirip antara beton yang terbuat dari agregat alam dan agregat daur ulang, baik dengan menggunakan metode NMA maupun TSMA. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 11**, dengan mengganti semen sebagian dengan 25% *fly ash* pada beton agregat daur ulang menunjukkan penurunan susut pengerangan dibandingkan dengan beton agregat alami. Namun, TSMA menunjukkan nilai susut pengerangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton agregat daur ulang dengan NMA untuk 25% *fly ash*. Sebaliknya, beton agregat daur ulang dengan 50% *fly ash* menunjukkan kenaikan dalam pengerangan susut dibandingkan dengan beton agregat alami seperti ditunjukkan pada **Gambar 12**. Dari **Gambar 12**, TSMA juga menunjukkan peningkatan susut pengerangan beton dibandingkan dengan NMA untuk beton agregat daur ulang dengan 50% *fly ash* sebagai pengganti semen.

5. KESIMPULAN

Pengaruh penggunaan fly ash terhadap performa beton daur ulang telah diteliti. Kesimpulan berikut diambil dari hasil tes:

1. Penggunaan *fly ash* sebagai pengganti semen dalam beton tanpa penyesuaian rasio w/b dapat mengurangi kekuatan tekan beton. Namun, hal itu dapat mengurangi susut pengerangan, khususnya pada beton dengan agregat daur ulang.
2. 25% dari *fly ash* sebagai pengganti semen dalam beton yang terbuat dari agregat daur ulang mengurangi susut pengerangan dengan pengurangan kekuatan beton yang tidak terlalu besar.
3. Penggunaan metode *Two-Stage Mixing Approach* (TSMA) dalam pencampuran beton telah menunjukkan peningkatan kuat tekan beton.

4. Penggunaan *fly ash* dan TSMA dapat meningkatkan performa beton yang terbuat dari agregat daur ulang

6. DAFTAR PUSTAKA

- Marinkovic S, Ignjatovic I, 2010, *Recycled Aggregate Concrete for Structural Use - an Overview of Technologies, Properties, and Applications*, ACES Workshop, Innovative Materials and Techniques in Concrete Construction, October
- Sakai K, 2009, *Recycling Concrete, the Present State and Future Perspective*”, TCG-JSCE JOINT SEMINAR. November
- Tam WYV, Tam CM, Wang Y, 2007, *Optimization on Proportion for Recycled Aggregate in Concrete Using Two-Stage Mixing Approach*, Construction and Building Materials Journal, Vol. 21, pp. 1928-1939
- Iizasa S, Shigeishi M, Namihira T, 2010, *Recovery of High Quality Aggregate From Concrete Waste Using Pulsed Power Technology*, S. Clean Technology, www.ct-si.org, ISBN 978-1-4398-3419-0
- McGovern M, 2002, *Recycled Aggregate for Reinforced Concrete*, July, Vol. 23, No. 2, Concrete Technology today, PCA (Portland Cement association)
- Narahara S, Namihira T, Nakashima K, Inoue S, Iizasa S, Maeda S, Shigeishi M, Ohtsu M Akiyama H, 2007, *Evaluation Of Concrete Made From Recycled Coarse Aggregates By Pulsed Power Discharged*, 1-4244-0914-4/07, IEEE
- Ishikawa Y, 2007, *Research On The Quality Distribution Of JIS Type-II Fly Ash In Japan*, World of Coal Ash (WOCA), May
- Sugiyama T, 2013, *Durability of Fly Ash Concrete in Salt-laden Environment*, Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technology Proceeding, August
- Naik TR, Sivasundaram V, Singh SS, 1991, *Use of High-Volume Class F Fly Ash for Structural Grade Concrete*, Transportation Record no. 1301, TRB, National Research Council, January, pp. 40-47
- Jatale A, Tiwari K, Khandelwal S, 2013, *Effects on Compressive Strength When Cement Is Partially Replaced by Fly Ash*, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, Vol. 5, Jan-Feb, pp. 34-43
- Nath P, Sarker P, 2013, *Effect Of Mixture Proportion On The Drying Shrinkage And Permeation Properties Of High Strength Concrete Containing Class F Fly Ash*, KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. Issue 6, pp 1437-1445
- Tam WYV, Gao XF, Tam CM, 2005, *Microstructural Analysis Of Recycled Aggregate Concrete Produced From Two-Stage Mixing Approach*, Cement and Concrete Research Journal, Vol. 35, Issue 6, June, pp. 1195-1203
- Jeong H, 2011, *Processing And Properties Of Recycled Aggregate Concrete*, Thesis, Graduate College of University of Illinois at Urbana-Champaign
- Akiyama, H. (2003). *High-Voltage Pulsed Power Engineering*. Ohmu-sha. Tokyo. pp. 1-2. pp. 36-38. p. 95.