

PENGARUH KOMPOSISI AGREGAT DAUR ULANG TERHADAP SUSUT PADA BETON NORMAL DAN BETON MUTU TINGGI

Bimo Harioseto¹⁾, Sholihin As'ad²⁾, Kusno Adi Sambowo³⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Negeri Sebelas Maret
^{2),3)} Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jalan Ir. Sutami No. 36 A Kientingan, Surakarta.
Email : hariosetobimo@gmail.com

Abstract

Recycled aggregate is material derived from recycled concrete waste that can be reused in the construction of buildings and have economic value. Solid waste from the demolition of unused buildings if not treated can pollute the environment. If it is processed properly, construction waste can produce high strength concrete and environmentally friendly. Utilization of recycled aggregates is expected to be an application that can support the green concrete program. This study aims to determine the characteristics of concrete with a replacement part or all of the recycled aggregate in comparison with natural coarse aggregate in terms of shrinkage of concrete.

This study used experimental method with 72 specimens. The specimens consisted of normal concrete and high strength concrete with a variation of the composition of recycled aggregate 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100%. Each type of concrete mix was made with 3 specimens. The tested object used was beam with $28 \times 7,5 \times 7,5$ cm³ size. The shrinkage tests were carried out in the first day until the 90th days. The data observed was the shrinkage value that furthermore was analyzed and the shrinkage value and long-term shrinkage prediction were obtained using ACI 209 equation.

From the result of analysis, it can be found that the use of recycled aggregate increase the drying shrinkage. The greatest shrinkage occurs in normal concrete samples with the use of recycled coarse aggregate as much as 100% in the amount of 1014.5 microstrain. While the lowest shrinkage found in a sample of high quality concrete with natural aggregate consumption as much as 100% in the amount of 595.83 microstrain. The results shows that the magnitude of drying shrinkage that occurs in high strength concrete is smaller than normal concrete. The result of research also shows that the more recycled aggregate is used, the magnitude of shrinkage of concrete with recycled aggregates becomes greater.

Keywords: recycled aggregate, shrinkage, and prediction of shrinkage.

Abstrak

Agregat daur ulang merupakan material yang berasal dari hasil daur ulang limbah beton yang bisa dipergunakan kembali didalam konstruksi bangunan dan memiliki nilai ekonomis. Limbah padat hasil dari pembongkaran bangunan yang tidak terpakai bila tidak diolah dapat mencemari lingkungan. Jika diolah dengan benar, limbah konstruksi dapat menghasilkan beton bermutu tinggi dan ramah lingkungan. Pemanfaatan agregat daur ulang ini diharapkan mampu menjadi salah satu penerapan yang dapat mendukung adanya program *green concrete*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik beton dengan penggantian sebagian atau seluruh agregat daur ulang jika dibandingkan beton dengan agregat alam ditinjau dari nilai susut beton.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan total 72 benda uji. Benda uji terdiri atas beton normal dan beton mutu tinggi dengan variasi komposisi agregat daur ulang 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%. Setiap jenis campuran beton dibuat 3 benda uji. Benda uji yang digunakan adalah prisma beton dengan panjang 28 cm, tinggi 7,5 cm, dan lebar 7,5 cm. Pengujian susut dilakukan pada umur 1 hari hingga umur 90 hari. Data yang diamati berupa nilai penyusutan yang selanjutnya dianalisis dan didapat besar penyusutan dan prediksi susut jangka panjang menggunakan persamaan ACI 209.

Dari analisis diperoleh hasil bahwa agregat daur ulang menambah besarnya nilai susut yang terjadi. *Shrinkage* terbesar terjadi pada sampel beton normal dengan pemakaian agregat kasar daur ulang sebanyak 100% yaitu sebesar 1014,5 *microstrain*. Sedangkan *shrinkage* terendah terdapat pada sampel beton mutu tinggi dengan pemakaian agregat alami sebanyak 100% yaitu sebesar 595,83 *microstrain*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa besarnya susut yang terjadi pada beton mutu tinggi lebih kecil dibandingkan beton normal. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa semakin banyak kadar agregat daur ulang yang digunakan, besarnya nilai susut pada beton akan semakin besar pula.

Kata kunci: agregat daur ulang, susut kering, dan prediksi susut.

PENDAHULUAN

Di Indonesia, banyak bangunan tua yang terpaksa harus dibongkar karena bangunan tersebut perlu diperbaharui, mengalami kerusakan, atau tidak layak untuk dihuni. Hasil bongkaran tersebut biasanya hanya dibuang sehingga menjadi limbah padat yang tidak memiliki nilai ekonomis. Solusi untuk mengatasi masalah di atas adalah dengan mendaur ulang beton hasil pembongkaran atau sisa *ready mix* sebagai agregat alternatif untuk menggantikan sebagian atau seluruh agregat alam di dalam campuran beton. Agregat daur ulang merupakan material yang berasal dari hasil daur ulang limbah beton yang bisa dipergunakan kembali didalam konstruksi bangunan dan memiliki nilai ekonomis. Pemanfaatan agregat daur ulang ini diharapkan mampu menjadi salah satu penerapan yang dapat mendukung adanya program *green concrete*.

Beton sebagai *sustainable construction material* dalam hal ini berarti beton yang berupa limbah padat sisa *ready mix* atau runtuh bangunan yang sudah tidak terpakai di olah kembali dengan cara di pecah menjadi agregat yang memenuhi spesifikasi yang kemudian di pakai kembali sebagai bahan konstruksi. Dengan menjadikan beton sebagai *sustainable construction material* berarti telah mendukung pembangunan konstruksi berkelanjutan yang mengacu pada penerapan desain bangunan, metode konstruksi dengan bahan yang ramah lingkungan.

Berdasarkan hasil studi eksperimental, agregat daur ulang mengandung mortar. Suharwanto (2004) melakukan studi eksperimental dimana agregat daur ulang mengandung mortar sebesar 25 hingga 45% untuk agregat kasar, dan 70 hingga 100% untuk agregat halus. Kandungan mortar tersebut mengakibatkan absorpsi agregat menjadi lebih besar, lebih porous atau berpori, sehingga kekerasannya berkurang. Dalam penggunaan agregat daur ulang harus diperhatikan bahwa, sifat agregat ini memerlukan air bebas yang lebih tinggi karena sifat penyerapan air yang lebih besar, waktu pemadatan yang lebih lama karena plastisitasnya lebih rendah, dan sifat permukaan agregat lebih kasar. Penyerapan air yang berlebihan berakibat bertambahnya susut pada beton karena berkurangnya volume beton kering akibat dari penguapan.

Perkembangan mengenai teknologi beton telah mengalami kemajuan pesat sehingga mampu membuat beton di lapangan dengan mutu tinggi. Beton mutu tinggi (*high strength concrete*) yang tercantum dalam *SNI 03-6468-2000 (Pd T-18-1999-03)* didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar sama dengan 41,4 MPa.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton dengan agregat daur ulang memiliki kuat tekan, kuat lentur, dan *stiffness* yang lebih rendah, serta, rangkang dan susut kering yang lebih tinggi dari beton dengan agregat normal (Snyder, 2009).

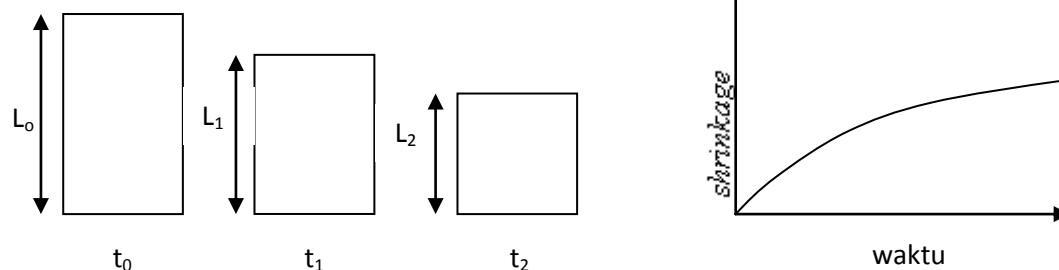
Pengurangan kuat tekan beton akibat penggunaan agregat daur ulang dibandingkan dengan agregat baru ternyata tidak terlalu signifikan, namun terjadi perbedaan dalam kapasitas *shrinkage* karena agregat daur ulang cenderung menghasilkan beton yang lebih porous (Beatrix Kerkhoff dan Eberhard Sieber, 2001).

Sesuai dengan perkembangan teknologi beton yang demikian pesat, ternyata kriteria beton mutu tinggi juga selalu berubah sesuai dengan kemajuan tingkat mutu yang berhasil dicapai. Pada tahun 1950an, beton dengan kuat tekan 30 MPa sudah dikategorikan sebagai beton mutu tinggi. Pada tahun 1960an hingga awal 1970an, kriterianya lebih lazim menjadi 40 MPa. Saat ini, disebut mutu tinggi untuk kuat tekan diatas 50 MPa, dan 80 MPa sebagai beton mutu sangat tinggi, sedangkan 120 MPa bisa dikategorikan sebagai beton bermutu ultra tinggi. (Supartono, 1998).

DASAR TEORI

Menurut ASTM C 596-96, susut adalah perubahan panjang dari benda uji selama periode tertentu, dimana perubahan panjang itu disebabkan bukan karena gaya eksternal melainkan akibat evaporasi. Pada saat beton serat mengeras dan menyusut, retak yang sangat kecil akan berkembang.

Pengukuran susut pada beton dilakukan dengan cara membandingkan antara selisih panjang awal dan panjang akhir dengan panjang mula-mula benda uji.



waktu	Panjang	Perubahan panjang dari t ₀	<i>shrinkage</i>
t ₀	L ₀	0	0
t ₁	L ₁	L ₀ - L ₁	(L ₀ - L ₁) / L ₀
t ₂	L ₂	L ₀ - L ₂	(L ₀ - L ₂) / L ₀

Gambar 1. Hubungan penyusutan terhadap waktu

Perkiraan nilai *shrinkage* pada masa mendatang sangat penting digunakan untuk merencanakan umur dan daya tahan struktur bangunan sehingga perlu diadakan pengukuran *shrinkage* dalam jangka pendek. Ekstrapolasi nilai *ultimate shrinkage* dari pengukuran *shrinkage* jangka pendek adalah metode paling tepat untuk memprediksi penyusutan jangka panjang.

ACI Committee 209 merekomendasikan untuk memprediksi penyusutan beton jangka panjang dari data-data jangka pendek yang dihitung dengan menggunakan Persamaan 1.

$$\epsilon_{sh}(t) = \frac{t}{35+t} \cdot \epsilon_{sh}(u) \dots\dots\dots [1]$$

Dimana:

$\epsilon_{sh}(t)$ = nilai susut kering umur t (selama pengujian)

$\epsilon_{sh}(u)$ = besar *ultimate shrinkage*

t = umur pengujian (hari)

METODE PENELITIAN

Pengujian terhadap susut beton normal dan beton mutu tinggi yang menggunakan agregat daur ulang dilakukan dengan cara mengamati perubahan dimensi benda uji yang berupa prisma. Benda uji yang diamati tidak dibebani sedikitpun agar perubahan dimensi yang terjadi benar-benar disebabkan oleh susut. Dalam penelitian ini digunakan rancang campur beton yang mengacu pada peraturan SK.SNI.T-15-1990-03 dengan kuat tekan (f_c') target 25 MPa untuk beton normal dan *trial mix* Sambowo 2003 dengan target 45 MPa untuk beton mutu tinggi.

Benda uji pada penelitian ini berupa prisma beton dengan panjang 28 cm, tinggi 7,5 cm, dan lebar 7,5 cm. Penelitian ini terdiri dari prisma beton normal dan beton mutu tinggi yang masing-masing menggunakan agregat daur ulang sebagai pengganti agregat kasar atau pun halus secara sebagian atau keseluruhan. Agregat daur ulang yang digunakan adalah limbah beton sebagai agregat kasar daur ulang dan limbah runtunan dinding sebagai agregat halus daur ulang dengan kadar agregat sebesar 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% dari jumlah agregat kasar atau halus yang digunakan. Jumlah benda uji keseluruhan sebanyak 72 buah.

Tabel 1. Perincian Benda Uji

Jenis Beton	Jenis Agregat	Prosentase	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji
Beton Normal	Alami	0%	NA 100	3
Beton Normal	Kasar Daur Ulang	20%	NK 20	3
Beton Normal	Kasar Daur Ulang	40%	NK 40	3
Beton Normal	Kasar Daur Ulang	60%	NK 60	3
Beton Normal	Kasar Daur Ulang	80%	NK 80	3
Beton Normal	Kasar Daur Ulang	100%	NK 100	3
Beton Normal	Halus Daur Ulang	20%	NH 20	3
Beton Normal	Halus Daur Ulang	40%	NH 40	3
Beton Normal	Halus Daur Ulang	60%	NH 60	3
Beton Normal	Halus Daur Ulang	80%	NH 80	3
Beton Normal	Halus Daur Ulang	100%	NH 100	3
Beton Normal	Kasar dan Halus Daur Ulang	100%	NDU 100	3

Lanjutan Tabel 1.

Beton Mutu Tinggi	Alami	0%	MTA 100	3
Beton Mutu Tinggi	Kasar Daur Ulang	20%	MTK 20	3
Beton Mutu Tinggi	Kasar Daur Ulang	40%	MTK 40	3
Beton Mutu Tinggi	Kasar Daur Ulang	60%	MTK 60	3
Beton Mutu Tinggi	Kasar Daur Ulang	80%	MTK 80	3
Beton Mutu Tinggi	Kasar Daur Ulang	100%	MTK 100	3
Beton Mutu Tinggi	Halus Daur Ulang	20%	MTH 20	3
Beton Mutu Tinggi	Halus Daur Ulang	40%	MTH 40	3
Beton Mutu Tinggi	Halus Daur Ulang	60%	MTH 60	3
Beton Mutu Tinggi	Halus Daur Ulang	80%	MTH 80	3
Beton Mutu Tinggi	Halus Daur Ulang	100%	MTH 100	3
Beton Mutu Tinggi	Kasar dan Halus Daur Ulang	100%	MTDU 100	3

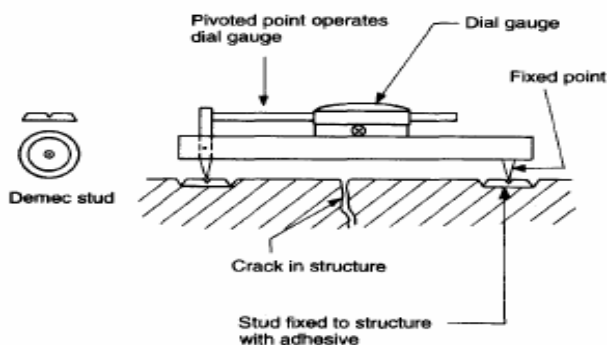
Alur Penelitian

Tahapan pembuatan benda uji :

- 1) Bahan-bahan campuran adukan beton disiapkan dan ditimbang sesuai dengan rancang campur adukan beton (*mix design*).
- 2) Bahan tersebut dicampur hingga homogen dengan cara memasukkannya ke dalam alat aduk beton secara berurutan mulai dari kerikil, pasir, semen, dan air.
- 3) Memasukkan adukan ke dalam cetakan balok kayu dengan ukuran panjang 28 cm, lebar 7,5 cm, dan tinggi 7,5 cm hingga penuh baik tanpa dipadatkan maupun dengan dipadatkan sedikit.
- 4) Setelah cetakan penuh dan padat, permukaannya diratakan dan diberi kode benda uji di atasnya, kemudian dидiamkan selama 24 jam.
- 5) *Bekisting* atau cetakan dapat dibuka apabila benda uji telah berumur satu hari.

Tahapan penyiapan alat :

- 1) Meletakkan benda uji pada dudukan.
- 2) Memberi tanda pada titik-titik yang akan ditinjau sejarak 200 mm dengan memakai alat *bar reference*.
- 3) *Demec point* yang berupa butiran berbentuk silinder terbuka di kedua sisinya dan berdiameter 3 mm, ditempelkan dengan lem tepat di atas titik-titik.
- 4) Setelah proses pemasangan selesai, benda uji dидiamkan selama kira-kira 4 jam sampai lem mengeras sehingga posisi *demec point* stabil.
- 5) Meletakkan *demec gauge* tepat di atas *demec point*.
- 6) Mengatur *dial gauge* yang terdapat pada *demountable mechanical strain gauge* dan jarum disetel pada posisi angka nol.
- 7) Kemudian pengujian siap dilakukan dengan membaca dan mencatat perubahan angka pada jarum yang ditunjukkan oleh *dial gauge*.



Gambar 2. *Setting* pengujian dan alat uji susut kering

Tahapan pengujian :

- 1) Meletakkan benda uji pada dudukan.
- 2) Meletakkan *demec gauge* pada *demec point* benda uji.
- 3) Mengamati perubahan jarum pengukur pada alat uji *demec gauge*.
- 4) Membaca dan mencatat angka pada jarum apabila jarum telah berhenti atau dalam keadaan stabil.
- 5) Mengulangi pengukuran pada masing-masing *demec point* sebanyak 5 kali.
- 6) Menghitung nilai *shrinkage* beton.

HASIL DAN PEMBAHASAN

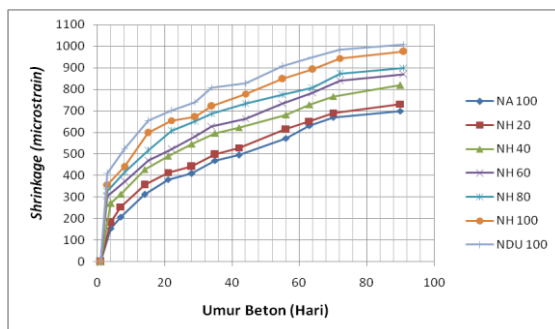
Tabel 2. Hasil pengujian susut (*shrinkage*) pada beton normal dengan penggunaan agregat daur ulang.

	Hari	1	4	7	14	21	28	35	42	56	63	70	90
NA 100	Shrinkage * 10-6	0.00	154.17	208.67	312.50	382.17	409.00	470.00	494.33	572.00	631.50	669.83	699.67
NH 20	Hari	1	4	7	14	21	28	35	42	56	63	70	90
	Shrinkage * 10-6	0.00	182.50	254.17	356.50	413.83	441.33	497.17	529.00	616.83	651.50	690.83	731.17
NH 40	Hari	1	4	7	14	21	28	35	42	56	63	70	90
	Shrinkage * 10-6	0.00	270.67	314.33	428.83	490.17	545.67	597.17	623.67	682.17	728.33	766.83	818.33
NH 60	Hari	1	3	8	15	22	29	34	44	55	64	72	91
	Shrinkage * 10-6	0.00	303.67	371.50	468.17	520.83	579.83	629.00	664.00	734.50	785.50	841.17	868.67
NH 80	Hari	1	3	8	15	22	29	34	44	55	64	72	91
	Shrinkage * 10-6	0.00	329.33	415.83	515.17	607.00	651.33	687.83	733.83	776.33	808.83	871.17	899.33
NH 100	Hari	1	3	8	15	22	29	34	44	55	64	72	91
	Shrinkage * 10-6	0.00	358.50	442.83	598.33	656.00	671.83	722.00	779.00	847.50	891.83	943.67	975.00
NK 20	Hari	1	4	7	14	21	28	35	42	56	63	70	90
	Shrinkage * 10-6	0.00	190.33	244.83	322.50	388.00	418.17	469.50	506.83	587.00	644.17	676.17	706.50
NK 40	Hari	1	5	8	16	22	28	36	43	57	62	71	89
	Shrinkage * 10-6	0.00	280.67	344.17	413.83	463.50	505.67	557.17	583.67	690.50	716.67	755.17	803.33
NK 60	Hari	1	5	8	16	22	28	36	43	57	62	71	89
	Shrinkage * 10-6	0.00	312.00	391.50	441.50	494.17	539.83	605.67	649.00	726.17	767.17	809.50	850.33
NK 80	Hari	1	3	8	15	22	29	34	44	55	64	72	91
	Shrinkage * 10-6	0.00	371.00	444.83	486.83	542.00	588.00	629.50	673.83	734.67	803.83	847.83	872.67
NK 100	Hari	1	3	8	15	22	29	34	44	55	64	72	91
	Shrinkage * 10-6	0.00	428.50	484.50	543.33	601.00	710.17	760.33	792.33	863.83	920.17	967.00	1014.50
NDU 100	Hari	1	3	8	15	22	29	34	44	55	64	72	91
	Shrinkage * 10-6	0.00	410.00	526.00	653.17	700.83	740.00	808.50	828.83	907.33	948.33	983.50	1007.83

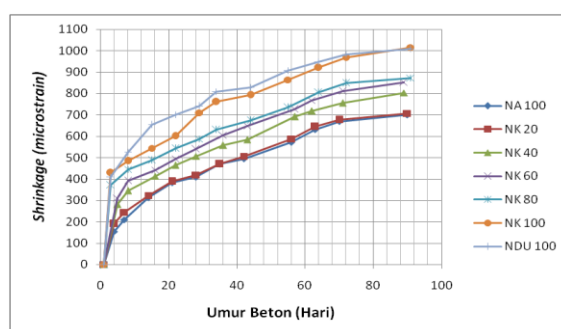
Tabel 3. Hasil pengujian susut (*shrinkage*) pada beton mutu tinggi dengan penggunaan agregat daur ulang.

	Hari	1	4	7	14	21	28	35	42	56	63	70	90
MTA 100	Shrinkage * 10-6	0.00	123.00	202.50	249.50	290.50	327.67	408.33	418.00	466.50	523.00	567.00	595.83
MTH 20	Hari	1	4	7	14	21	28	35	42	56	63	70	90
	Shrinkage * 10-6	0.00	202.67	274.17	336.50	393.83	436.33	492.17	517.33	605.17	639.83	659.17	699.50
MTH 40	Hari	1	4	7	14	21	28	35	42	56	63	70	90
	Shrinkage * 10-6	0.00	262.33	314.17	417.17	456.83	499.00	550.50	577.00	648.83	701.67	725.17	756.67
MTH 60	Hari	1	3	8	15	22	29	34	44	55	64	72	91
	Shrinkage * 10-6	0.00	270.33	338.17	431.50	482.50	531.50	587.33	616.50	699.50	738.83	784.50	820.33
NH 80	Hari	1	3	8	15	22	29	34	44	55	64	72	91
	Shrinkage * 10-6	0.00	304.33	374.83	500.17	528.67	574.67	616.17	668.83	714.67	783.83	827.83	852.67
MTH 100	Hari	1	3	8	15	22	29	34	44	55	64	72	91
	Shrinkage * 10-6	0.00	358.50	442.83	573.33	631.00	681.83	733.67	724.00	792.50	836.83	888.67	924.33
MTK 20	Hari	1	4	7	14	21	28	35	42	56	63	70	90
	Shrinkage * 10-6	0.00	172.50	235.83	268.17	383.83	409.67	465.50	530.67	568.50	613.17	645.83	648.00

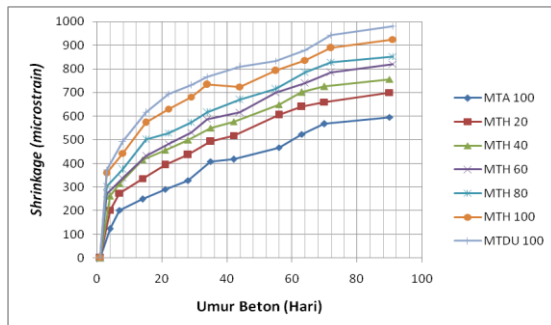
MTK 40	Hari	1	5	8	16	22	28	36	43	57	62	71	89
	Shrinkage * 10 ⁻⁶	0.00	270.67	314.17	429.00	476.83	519.00	570.50	597.00	670.50	713.33	758.50	793.33
MTK 60	Hari	1	5	8	16	22	28	36	43	57	62	71	89
	Shrinkage * 10 ⁻⁶	0.00	280.33	348.17	456.50	509.17	554.83	604.00	629.00	699.50	750.50	796.17	832.00
MTK 80	Hari	1	3	8	15	22	29	34	44	55	64	72	91
	Shrinkage * 10 ⁻⁶	0.00	329.33	403.17	506.83	590.33	636.33	677.83	722.17	768.00	808.83	852.83	877.00
MTK 100	Hari	1	3	8	15	22	29	34	44	55	64	72	91
	Shrinkage * 10 ⁻⁶	0.00	358.50	461.17	590.00	647.67	713.50	763.67	812.33	864.17	873.50	925.33	961.33
MTDU 100	Hari	1	3	8	15	22	29	34	44	55	64	72	91
	Shrinkage * 10 ⁻⁶	0.00	374.00	493.33	615.50	694.83	730.67	767.50	807.83	833.00	877.33	944.17	980.17



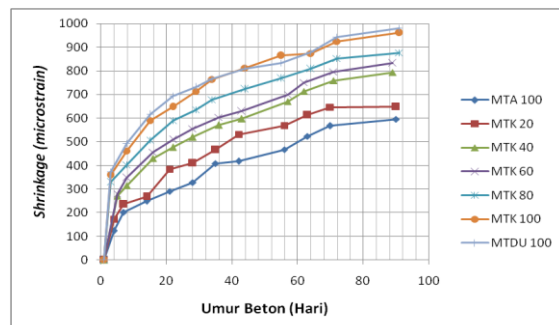
Gambar 3. Hubungan *shrinkage* dan umur pengeringan pada beton normal dengan penggunaan agregat halus daur ulang



Gambar 4. Hubungan *shrinkage* dan umur pengeringan pada beton normal dengan penggunaan agregat kasar daur ulang



Gambar 5. Hubungan *shrinkage* dan umur pengeringan pada beton mutu tinggi dengan penggunaan agregat halus daur ulang



Gambar 6. Hubungan *shrinkage* dan umur pengeringan pada beton mutu tinggi dengan penggunaan agregat kasar daur ulang

Dari pengamatan yang telah dilakukan selama sekitar 90 hari terlihat bahwa *shrinkage* beton tanpa agregat daur ulang cenderung lebih rendah dibandingkan dengan *shrinkage* yang terjadi pada beton agregat daur ulang. Besarnya susut yang terjadi pada beton mutu tinggi lebih kecil dibandingkan beton normal. *Shrinkage* terbesar terjadi pada sampel beton normal dengan pemakaian agregat kasar daur ulang 100% (NK 100) yaitu sebesar 1014,5 *microstrain*. Sedangkan *shrinkage* terendah terdapat pada sampel beton mutu tinggi dengan pemakaian agregat alami (MTA 100) yaitu sebesar 595,83 *microstrain*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kadar agregat daur ulang yang ada pada beton ikut mempengaruhi besarnya *shrinkage*, karena agregat daur ulang memiliki absorpsi yang cukup tinggi sehingga meningkatkan penyusutan beton. Perbedaan jenis beton juga ikut mempengaruhi penyusutan beton, karena beton mutu tinggi menggunakan bahan tambah (*superplasticizer*) Additon *Super-Fluid* yang berfokus pada pengurangan penggunaan air untuk mendapatkan beton dengan kuat tekan yang tinggi.

Tabel 4. Nilai *ultimate shrinkage*

Kode Sampel	Nilai <i>Ultimate Shrinkage</i>	Kode Sampel	Nilai <i>Ultimate Shrinkage</i>
NA 100	970.1	MTA 100	809.5
NH 20	1027	MTH 20	999.6
NH 40	1179	MTH 40	1108
NH 60	1257	MTH 60	1176
NH 80	1343	MTH 80	1248
NH 100	1451	MTH 100	1387
NK 20	988.9	MTK 20	950.2
NK 40	1139	MTK 40	1141
NK 60	1222	MTK 60	1202
NK 80	1279	MTK 80	1321
NK 100	1484	MTK 100	1463
NDU 100	1551	MTDU 100	1481

Setelah menyusut dalam jangka waktu yang lama maka penyusutan beton semakin lama semakin mengecil. Nilai *shrinkage* akhir yang tidak akan bertambah lagi disebut *ultimate shrinkage*.

SIMPULAN

Penambahan kadar agregat daur ulang dengan persentase tertentu mempengaruhi nilai *shrinkage*, dimana semakin tinggi kadar agregat daur ulang yang digunakan maka nilai *shrinkage* akan bertambah. Nilai susut pada beton mutu tinggi lebih rendah dibanding beton normal yang disebabkan oleh pemakaian faktor air semen yang berbeda. Penyusutan terbesar terjadi pada sampel beton normal dengan pemakaian agregat kasar daur ulang 100% yaitu sebesar 1014,5 *microstrain*. Sedangkan penyusutan terendah terdapat pada sampel beton mutu tinggi dengan pemakaian agregat alami yaitu sebesar 595,83 *microstrain*. Selisih nilai susut yang terjadi pada setiap persentase penggunaan agregat daur ulang relatif hampir sama.

REKOMENDASI

Pembuatan agregat halus daur ulang dari limbah bongkaran beton seharusnya bisa menggunakan mesin untuk memperoleh gradasi yang lebih baik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada rekan tim uji (Hari Wahyudi, Wahyu Tri Martanto) atas bantuan pelaksanaan penelitian dan kepada Dr.Techn.Ir.Sholihin As'ad, MT dan Kusno Adi Sambowo, ST, PhD sebagai pembimbing penelitian.

REFERENSI

- American Society For Testing and Materials C 125-03. 1995. *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*. ASTM International, United States.
- American Society For Testing and Materials C 33-74a. 2003. *Standard Specification for Concrete Aggregates*. ASTM International, United States.
- American Society For Testing and Materials. ASTM C494. 1997. *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*. ASTM International, Philadelphia United States.
- Anonim. 1982. *Peraturan Umum Baban Bangunan Indonesia (PUBI)*. Jakarta.
- Beatrix Kerkhoff and Eberhard Siebel. *Properties of concrete with recycled aggregate*.
- Nawi, E.G.1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Eresco. Bandung.
- Primasari , Ariesta Putri. 2010. Pengaruh Penambahan Serat Baja Ban Bekas dan Penggunaan Agregat Daur Ulang Terhadap Susut Kering (*Drying Shrinkage*) Pada Beton Precast. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Sambowo, Kusno Adi. 2003. *Engineering Properties and Durability Performance of metakaolin and Metakaolin – PFA Concrete*. Thesis. Sheffield University

- Snyder, Mark. 2009. *Properties and Characteristics of Recycled Concrete Aggregate*. Washington State Department of Transportation.
- Suharwanto. 2005. *Perilaku Mekanik Beton Agregat Daur Ulang: Aspek Material-Struktural*. Departemen Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Suparsono, F.X.1998. *Mengenal dan Mengetahui Permasalahan pada Produksi Beton Berkinerja Tinggi*. Artikel ilmiah, UI, Jakarta.
- Tjokrodinuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Nafiri. Yogyakarta.