

THE PREDICTION OF LONG-TERM SHRINKAGE OF LIGHTWEIGHT CONCRETE CONSIDERED TO MAGNITUDE OF SHORT-TERM SHRINKAGE

PREDIKSI SUSUT JANGKA PANJANG BETON RINGAN BERDASAR NILAI SUSUT JANGKA PENDEK

SA Kristiawan dan Senot Sangadji

Staf pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No 36 A Surakarta 57126. e-mail: sa_kristiawan@uns.ac.id

ABSTRACT

The magnitude of long-term shrinkage of lightweight concrete has to be considered in the design of lightweight concrete structure. This research is intended to develop a model for predicting the magnitude of long-term shrinkage of lightweight concrete based on the short-term value. Model of ACI 209 R-92 is used as a reference to start with and then it is verified and modified with the results of more than 9 months shrinkage observation on samples of lightweight concrete having various degrees of saturation of Artificial Lightweight Aggregate (ALWA), water/cement ratios, volume/surface ratios and curing period. The final model may be applied to predict long-term shrinkage of lightweight concrete using data from the observation of shrinkage for 28 days only. Coefficient error of prediction is about 30%

Keywords: lightweight concrete, model, prediction, shrinkage

ABSTRAK

Nilai susut jangka panjang dari beton ringan harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur beton ringan. Penelitian ini fokus pada pengembangan model prediksi susut jangka panjang beton ringan berdasar nilai susut jangka pendek. Model ACI 209 R-92 digunakan sebagai referensi untuk memulai dan kemudian diverifikasi dan dimodifikasi dengan hasil lebih dari 9 bulan observasi sample susut jangka panjang beton ringan dengan derajat kejenuhan agregat buatan ringan (Artificial Lightweight Aggregate, ALWA), kadar air dan semen, rasio volume/permukaan, dan waktu perawatan yang berbeda-beda. Model terakhir mungkin bisa dipakai untuk memperkirakan susut jangka panjang beton ringan dengan menggunakan data observasi susut selama 28 hari saja. Angka kesalahan dari prediksi ini sebesar 30%.

Kata-kata kunci: beton ringan, model, prediksi, susut

PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan pembangunan gedung-gedung bertingkat banyak di perkotaan tidak dapat dihindarkan mengingat makin sempit dan mahalnya lahan serta adanya tuntutan tata ruang kota. Kenyataan ini mengakibatkan beban-beban yang harus ditopang oleh struktur bangunan tersebut sangat besar yang pada akhirnya menyebabkan hasil desain berupa elemen dengan tampang yang besar pula. Beton sebagai bahan yang secara luas dipakai sebagai elemen struktur memberi kontribusi beban mati yang cukup signifikan dari total beban yang harus dipikul oleh struktur bangunan. Pengembangan beton struktural yang berbobot ringan dapat memberi jawaban dalam mengurangi beban bangunan yang selanjutnya dapat diperoleh rancangan elemen struktur yang lebih ramping.

Perancangan struktur beton apalagi beton ringan perlu memperhitungkan faktor susut agar efek negatif yang ditimbulkannya seperti lendutan yang berlebihan dapat diantisipasi. Nilai susut jangka panjang beton ringan yang biasanya melebihi nilai susut beton normal seperti yang dilaporkan oleh Kayali dkk (1999) harus dicari terlebih dulu agar bisa dijadikan masukan dalam proses perancangan. Kendalanya adalah insinyur sipil tidak mungkin melakukan pengukuran susut dalam jangka waktu tahunan hanya untuk mendapatkan parameter susut. Dengan demikian pengembangan model yang dapat memprediksi nilai susut jangka panjang beton ringan menjadi kebutuhan mendesak.

Model prediksi dapat disusun dengan cara extrapolasi nilai susut jangka pendek seperti yang telah lama diusulkan oleh Brooks dan Neville (1975 dan 1978). Alternatif lain dalam merumuskan model prediksi susut jangka panjang juga mereka usul-

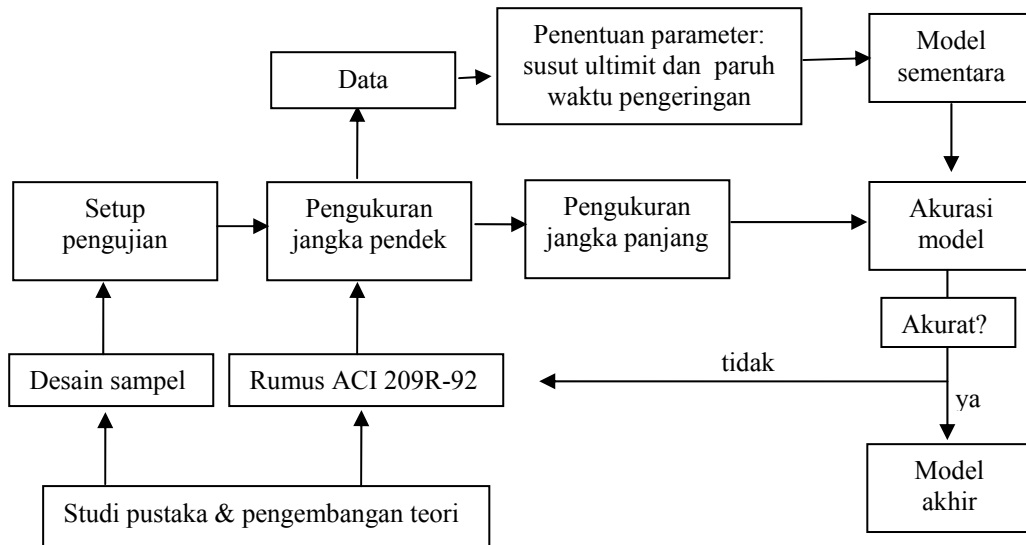
kan (1983) yaitu dengan cara merelasikan faktor-faktor yang mempengaruhi susut. Kedua metode penyusunan model prediksi susut jangka panjang tersebut juga diakomodasi dalam peraturan ACI 209R-92.

Pada penelitian tentang susut jangka panjang beton ringan ini terutama difokuskan untuk mendapatkan model prediksi susut jangka panjang beton ringan dengan data susut jangka pendek (28 hari). Model prediksi yang dikembangkan dalam penelitian ini disusun dengan memakai model ACI 209R-92 sebagai rujukan awal. Verifikasi dan modifikasi terhadap model ACI 209R-92 terus dilakukan seiring dengan bertambahnya lama pengukuran susut. Model akhir yang diusulkan dalam penelitian ini disusun dan divalidasi dengan menggunakan data hasil pengukuran susut selama lebih dari 9 bulan pada sampel beton ringan dengan berbagai tingkat kejenuhan ALWA, faktor air semen (fas), rasio volume terhadap luas permukaan (*V/S ratio*) dan lama perawatan. Berbagai variasi pada sampel beton ringan tersebut dibuat untuk mewakili variasi yang mungkin terjadi pada penggunaan beton ringan struktural. Tingkat kesalahan prediksi yang diharapkan dari model yang diusulkan berada pada kisaran 30%.

METODE PENELITIAN

Alur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret sebagai metode utamanya. Selanjutnya hasil pengukuran susut di laboratorium dianalisis dengan mengikuti alur Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

Tabel 1. Proporsi campuran per m³ beton ringan untuk uji pengaruh tingkat kejenuhan ALWA

Identifikasi Sampel	Semen (kg)	Pasir (kg)	ALWA (kg)	Air (kg)	Derajat kejenuhan
BR 0%	380.7	417.4	783	228.4	0%
BR 25%	380.7	417.4	783	228.4	25%
BR 50%	380.7	417.4	783	228.4	50%
BR 75%	380.7	417.4	783	228.4	75%
BR 100%	380.7	417.4	783	228.4	100%

Tabel 2. Proporsi sampel beton ringan per m³ untuk uji pengaruh fas

Identifikasi Sampel	Semen (kg)	Pasir (kg)	ALWA (kg)	Air (kg)	fas
BR 0.6	380.7	417.4	783	228.4	0.6
BR 0.5	456.8	341.3	783	228.4	0.5
BR 0.4	571	227.1	783	228.4	0.4
BR 0.32	648.9	170	783	228.4	0.32
BR 0.28	741.6	77.3	783	228.4	0.28

Tabel 3. Proporsi sampel beton ringan per m³ beton ringan untuk uji pengaruh V/S ratio

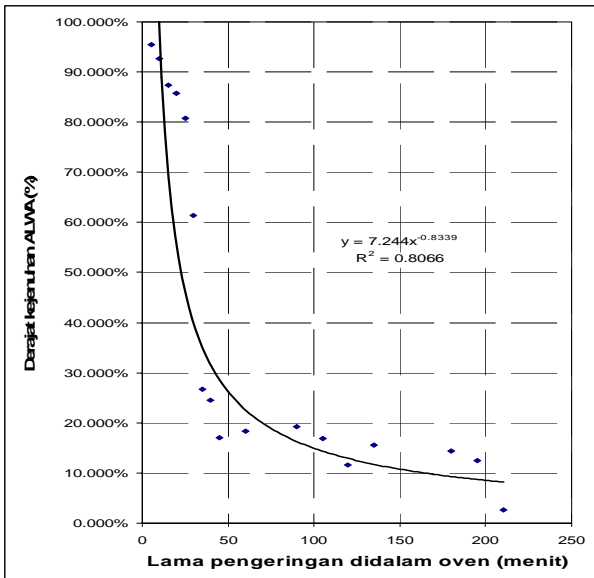
Identifikasi Sampel	Semen (kg)	Pasir (kg)	ALWA (kg)	Air (kg)	Volume/Surface
BR – V/S1	519	334	837	207	1
BR –V/S1.5	519	334	837	207	1.5
BR – V/S2	519	334	837	207	2
BR – V/S2.5	519	334	837	207	2.5
BR –V/S 3	519	334	837	207	3

Tabel 4. Proporsi sampel beton ringan per m³ beton ringan untuk uji pengaruh lama perawatan

Identifikasi Sampel	Semen (kg)	Pasir (kg)	ALWA (kg)	Air (kg)	Curing Period
BR – 1	519	334	837	207	1 hari
BR –4	519	334	837	207	4 hari
BR – 7	519	334	837	207	7 hari
BR – 14	519	334	837	207	14 hari
BR –21	519	334	837	207	21 hari
BR –28	519	334	837	207	28 hari

Proporsi Campuran

Beton ringan yang digunakan dibuat dengan mengganti agregat kasar pada campuran penyusun beton dengan ALWA. Perencanaan campuran dilakukan dengan mengacu pada rancang campur beton ringan sebagaimana yang tertuang didalam ACI 211.2-98. Tabel 1-4 menunjukkan nilai proporsi campuran yang digunakan. Tingkat kejenuhan ALWA didapat dengan mengeringkan ALWA jenuh didalam oven dengan lama pengeringan divariasikan dengan mengacu pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan derajat kejenuhan ALWA dengan lama pengeringan ALWA jenuh didalam oven

Sampel Uji

Semen, pasir, ALWA dan air yang telah ditimbang dengan proporsi seperti ditunjukkan pada Tabel 1-4 dicampur didalam mesin pencampur beton (*concrete mixer*). Beton segar yang diperoleh kemudian dituang dalam cetakan berupa silinder dengan diameter 75 mm dan panjang 275 mm. Ukuran benda uji mengacu pada Brooks dan Neville (1978). Beton segar yang telah dituang dalam cetakan dibiarkan selama 24 jam pada suhu dan kelembaban ruangan (20°C dan 70%) kemudian cetakan dilepas.

Beton ringan yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini berbobot kurang dari 1800 kg/m³ dan tergolong beton struktural karena memiliki kekuatan tekan rata-rata lebih dari 17 MPa.

Pengukuran susut

Alat yang digunakan untuk mengukur susut berupa *Demountable Mechanical Strain Gauge (Demec Gauge)* dengan ketelitian 1 (satu) micron. Sebelum pengukuran dimulai, pada sampel diletakkan 4 pasang *Demec points* pada jarak 200 mm dengan bantuan *Reference Bar*. *Reference Bar* juga berfungsi sebagai patokan awal untuk penyetelan posisi awal *Demec Gauge* sebelum dipakai untuk mengukur perubahan panjang *Demec points* akibat susut. Pengukuran dilakukan mulai umur 1 (satu) hari (sesaat setelah cetakan dilepas) pada interval waktu 3 (tiga) hari untuk 2 (dua) minggu pertama dan interval waktunya semakin besar se-

iring dengan bertambahnya waktu. Selama jangka waktu pengukuran tersebut sampel disimpan dalam suhu dan kelembaban ruangan. Susut diperoleh dengan melihat perubahan panjang/jarak *Demec points* yang dihitung dari selisih nilai pembacaan pada saat susut ditinjau dengan pembacaan posisi awal *Demec points*. Gambar 3 memperlihatkan pengukuran susut pada salah satu sampel.



Gambar 3. Pengukuran susut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penerapan Metode ACI 209R-92 Untuk Memprediksi Susut Jangka Panjang

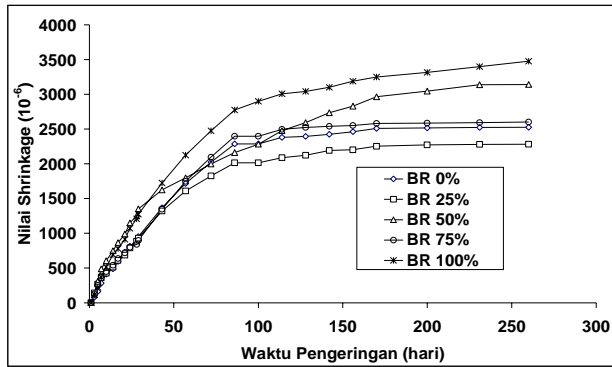
Nilai susut beton ringan hasil pengukuran seluruh sampel disajikan pada Gambar 4-7. Data susut jangka pendek (28 hari) akan dipakai sebagai masukan untuk menerapkan model ACI 209R-92 yang formulasinya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\epsilon_{sh}(t) = \frac{t}{35+t} \epsilon_{sh}(\infty) \quad (1)$$

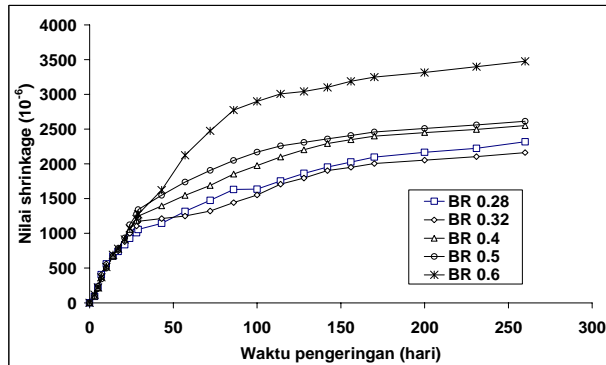
dimana: $\epsilon_{sh}(t)$ = susut setelah pengeringan selama t hari

$$\epsilon_{sh}(\infty) = \text{susut ultimit}$$

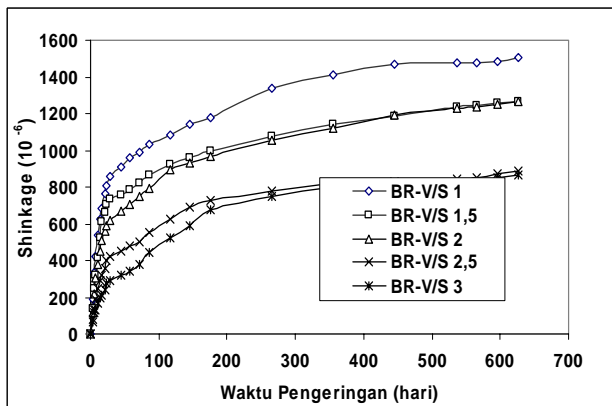
Langkah pertama dalam penerapan model ACI 209R-92 adalah membuat grafik yang menghubungkan nilai pengukuran susut hingga waktu pengeringan 28 hari (sumbu y) dengan $\frac{t}{35+t}$ (sumbu x). Gambar 8 memperlihatkan contoh dari grafik ini dengan menggunakan data susut sampel BR 0%. *Gradient* dari garis regresi menyatakan nilai susut ultimit yang diprediksi. Dengan cara yang sama susut ultimit untuk sampel yang lain dapat diperoleh dan hasilnya ditabulasikan pada Tabel 5. Dengan telah diperolehnya susut ultimit untuk tiap-tiap sampel maka Persamaan (1) dapat secara langsung digunakan untuk memprediksi nilai susut jangka panjang.



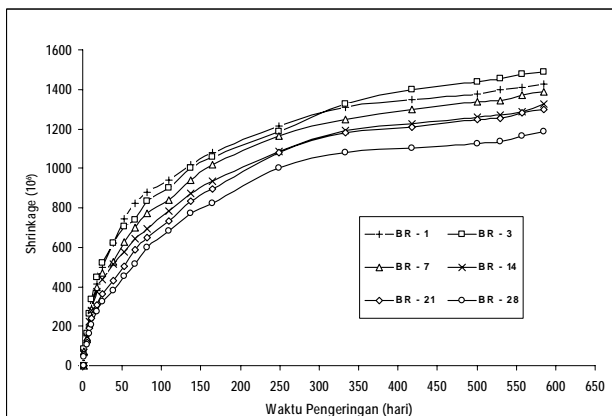
Gambar 4. Shrinkage beton ringan pada variasi tingkat kejenuhan ALWA



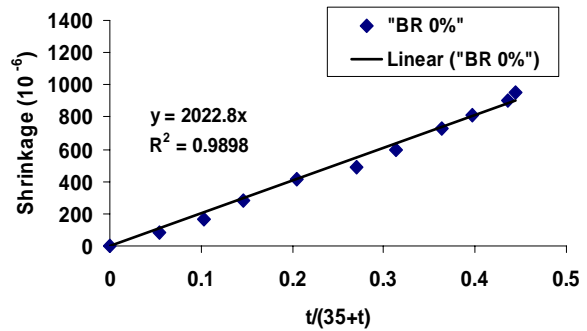
Gambar 5. Shrinkage beton ringan pada variasi faktor air semen



Gambar 6. Shrinkage beton ringan pada variasi volume /surface ratio



Gambar 7. Shrinkage beton ringan pada variasi curing period



Gambar 8. Hubungan shrinkage dan $t/(35+t)$ untuk menentukan susut ultimit pada sampel BR 0%

Tabel 5. Nilai susut ultimit hasil prediksi dengan data susut 28 hari.

Kode Benda Uji	Ultimate Shrinkage	Kode Benda Uji	Ultimate Shrinkage
BR 0%	2022,8	BR - V/S1	2161,8
BR 25%	2018,7	BR -V/S1.5	1838,6
BR 50%	2864,8	BR - V/S2	1568,6
BR 75%	2020,9	BR - V/S2.5	1031,6
BR 100%	2669,2	BR -V/S 3	706,91
BR 0.6	2669,2	BR - 1	1247,0
BR 0.5	2750,1	BR -4	1201,6
BR 0.4	2632,1	BR - 7	1093,4
BR 0.32	2535,7	BR - 14	1013,4
BR 0.28	2374,0	BR -21	900,46
		BR -28	805,67

Modifikasi Model ACI 209R-92 Untuk Beton Ringan

Nilai susut ultimit pada Tabel 5 dalam model ACI 209R-92 untuk memprediksi susut jangka panjang perlu diverifikasi dengan data hasil pengukuran jangka panjang. Gambar 9 memperlihatkan perbandingan hasil prediksi dan observasi untuk sampel BR 0%. Nilai kesalahan prediksi dapat dievaluasi dengan Persamaan (2) yang diusulkan oleh Neville dkk (1983):

$$M = \frac{1}{\varepsilon_{sh}(t)} \sum \left\{ \left[\frac{\varepsilon_{sh}(t) - \hat{\varepsilon}_{sh}(t)}{n} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (2)$$

dimana $\varepsilon_{sh}(t)$ = susut yang diobservasi sesudah waktu t

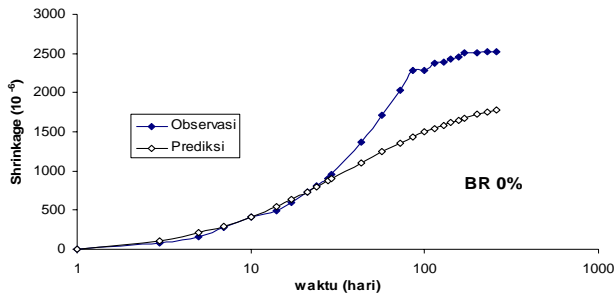
$\hat{\varepsilon}_{sh}(t)$ = prediksi susut sesudah waktu t yang diestimasi dari data jangka pendek

$\bar{\varepsilon}_{sh}(t)$ = rerata dari sejumlah n susut yang diobservasi

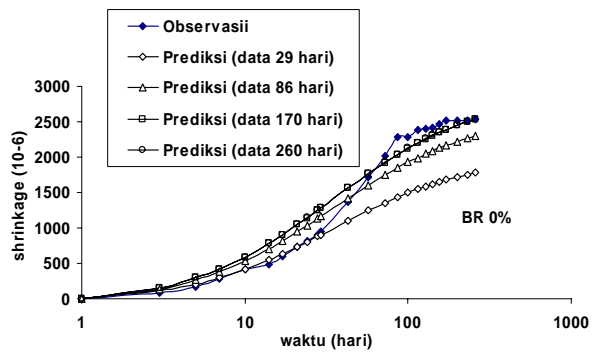
Hasil perhitungan tingkat kesalahan (M%) disajikan pada Tabel 6. Dari tabel tersebut menunjukkan bahwa nilai kesalahan prediksi ACI 290R-92 yang disusun dengan data susut jangka pendek (28 hari) masih sangat tinggi.

Tingkat kesalahan prediksi dapat dikurangi dengan menambah umur data susut. Gambar 10 dan Tabel 7-10 memperlihatkan perbaikan prediksi bilamana data susut yang dipakai untuk me-

nyusun model prediksi meningkat. Dengan menambah masukan data susut hingga lebih dari 9 bulan (260 hari) untuk menyusun model prediksi maka tingkat kesalahannya berkurang menjadi 44%, 32%, 51% dan 55% masing-masing untuk sampel dengan variasi tingkat kejenuhan ALWA, fas, *V/S ratio* dan lama perawatan.



Gambar 9. Perbandingan shrinkage prediksi dan observasi pada sampel BR 0%



Gambar 10. Perbandingan prediksi dengan variasi input data susut pada sampel BR 0%

Tabel 6. Tingkat kesalahan (M%) prediksi

Sampel	M (%)	Sampel	M (%)	Sampel	M (%)	Sampel	M (%)
BR 0%	136.86	BR 0.6	135.50	BR - V/S1	170.37	BR - 1	42.63
BR 25%	105.09	BR 0.5	38.31	BR - V/S1.5	178.42	BR - 4	49.59
BR 50%	57.84	BR 0.4	31.48	BR - V/S2	177.73	BR - 7	54.60
BR 75%	146.16	BR 0.32	32.42	BR - V/S2.5	82.38	BR - 14	58.19
BR 100%	129.29	BR 0.28	28.55	BR - V/S 3	80.39	BR - 21	89.58
Rata-rata	102.30	Rata-rata	53.25	Rata-rata	137.86	BR - 28	97.56
						Rata-rata	65.36

Tabel 7. Nilai kesalahan prediksi (M%) dengan variasi input data *shrinkage* pada sampel dengan variasi tingkat kejenuhan ALWA

ACI Sampel	M %			
	28 hari	86 hari	170 hari	260 hari
BR 0%	136.86	77.31	56.20	55.79
BR 25%	105.09	53.82	37.99	37.59
BR 50%	57.84	50.13	40.99	40.91
BR 75%	146.16	82.07	58.93	58.70
BR 100%	129.29	80.70	58.31	54.91
Rata-rata	102.30	62.61	45.77	44.81

Tabel 8. Nilai kesalahan prediksi (M%) dengan variasi input data *shrinkage* pada sampel dengan variasi fas

ACI Sampel	M %			
	28 hari	86 hari	170 hari	260 hari
BR 0.6	135.50	91.02	61.92	57.59
BR 0.5	38.31	25.11	17.56	16.79
BR 0.4	31.48	34.44	26.27	25.43
BR 0.32	32.42	40.84	36.51	35.59
BR 0.28	28.55	36.14	29.34	28.85
Rata-rata	53.25	45.51	34.32	32.85

Tabel 9. Nilai kesalahan prediksi (M%) dengan variasi input data shrinkage pada sampel dengan variasi V/S ratio

ACI Sampel	M %			
	28 hari	86 hari	170 hari	626 hari
BR – V/S1	170.37	119.94	50.79	49.93
BR –V/S1.5	178.42	54.40	53.93	52.64
BR – V/S2	177.73	48.01	48.54	47.93
BR – V/S2.5	82.38	190.20	43.02	37.15
BR –V/S 3	80.39	293.93	87.10	70.29
Rata-rata	137.86	141.29	56.68	51.59

Tabel 10. Nilai kesalahan prediksi (M%) dengan variasi input data *shrinkage* pada sampel dengan variasi lama perawatan

ACI Sampel	M %			
	28 hari	86 hari	170 hari	626 hari
BR – 1	42.63	43.43	40.26	35.52
BR – 4	49.59	63.99	61.13	49.88
BR – 7	54.60	74.21	64.16	49.94
BR – 14	58.19	79.04	70.76	52.99
BR –21	89.58	109.53	88.75	71.19
BR –28	97.56	111.28	91.36	72.70
Rata-rata	65.36	79.91	69.90	55.27

Perbaikan tingkat akurasi prediksi dengan menambah jumlah masukan data susut bagaimanapun juga tetap menghasilkan nilai kesalahan yang tinggi (diatas 30%) sekalipun data yang dipakai sudah sampai pada nilai susut 260 hari. Oleh karena itu pada tahap ini diusulkan untuk mengubah nilai paruh waktu pengeringan dalam rumus ACI 290R-92 dari 35 menjadi N dimana N dicari dengan prosedur sebagai berikut:

Pertama-tama dibuat grafik yang menghubungkan nilai susut hasil pengukuran (sumbu y) dengan $t/N+t$ (sumbu x). Nilai N dicoba dan divariasikan mulai dengan angka 35 hingga diperoleh nilai optimum. Tiap-tiap nilai N akan menghasilkan nilai susut ultimit tersendiri. Dengan menggunakan nilai masing-masing N dan pasangan susut ultimitnya, diperoleh formulasi baru yang selanjutnya tingkat kesalahan dari formulasi baru ini dievaluasi dengan Persamaan (2). Tabel 11-14 menunjukkan hasil perhitungan dengan variasi N untuk memperoleh nilai susut ultimit serta hasil evaluasi tingkat kesalahan dari masing-masing nilai N yang digunakan. Dari Tabel 11-14 tersebut dapat dilihat bahwa dengan menggunakan paruh waktu $N=55$ diperoleh nilai tingkat kesalahan prediksi yang paling kecil (optimum). Oleh karena itu nilai $N=55$ ini diusulkan sebagai pengganti nilai 35 pada formulasi ACI 290R-92.

Tingkat keakuratan prediksi terendah yang dapat dicapai seperti ditunjukkan pada Tabel 11-14 diperoleh dari formulasi yang disusun dengan nilai N tertentu dan membutuhkan data pengukuran susut hingga lebih 260 hari. Secara praktis, diinginkan untuk menggunakan data pengukuran sependek mungkin dalam

menyusun model prediksi tetapi tanpa kehilangan keakuratan. Untuk menyiasati hal ini, digunakan faktor χ sebagai pengali agar prediksi yang disusun dengan masukan data susut jangka pendek (28 hari) memiliki tingkat akurasi yang sama dengan prediksi yang menggunakan masukan data susut jangka panjang. Tabel 15-18 memperlihatkan perolehan faktor χ . Pada tabel-tabel tersebut juga ditunjukkan perbaikan nilai kesalahan (M%) setelah faktor χ digunakan dalam prediksi.

Dari seluruh uraian diatas, model prediksi *shrinkage* jangka panjang dengan data *shrinkage* jangka pendek pada beton ringan dapat digunakan formulasi berikut:

$$\mathcal{E}_{sh(t)} = \chi \frac{t}{N + t} \mathcal{E}_{sh(\infty)} \quad (3)$$

dimana: $\mathcal{E}_{sh(t)}$ = *shrinkage* setelah pengeringan selama t hari.

$\mathcal{E}_{sh(\infty)}$ = *ultimate shrinkage*.

N = paruh waktu *shrinkage* yang nilainya tergantung pada tingkat kejenuhan ALWA, fas, V/S ratio dan *curing pe-riod*.

χ = faktor pengali yang nilainya tergantung pada tingkat kejenuhan ALWA, fas, V/S ratio dan *curing period*.

Tabel 15. Nilai faktor χ dan perbaikan tingkat kesalahan (M%) yang dihasilkan untuk sampel beton ringan dengan variasi tingkat kejenuhan ALWA

Sampel	M% (mula-mula)	Faktor χ	M (%)
BR 0%	136.86	1.551	36.37
BR 25%	105.09	1.551	27.26
BR 50%	57.84	1.551	16.66
BR 75%	146.16	1.551	41.57
BR 100%	129.29	1.551	25.03
Rata-rata	102.30	1.551	26.72

Tabel 16. Nilai faktor χ dan perbaikan tingkat kesalahan (M%) yang dihasilkan untuk sampel beton ringan dengan variasi fas.

Sampel	M% (mula-mula)	Faktor χ	M (%)
BR 0.6	135.50	0.954	40.10
BR 0.5	38.31	0.954	12.50
BR 0.4	31.48	0.954	14.50
BR 0.32	32.42	0.954	39.94
BR 0.28	28.55	0.954	26.37
Rata-rata	53.25	0.954	26.68

Tabel 17. Nilai faktor χ dan perbaikan tingkat kesalahan (M%) yang dihasilkan untuk sampel beton ringan dengan variasi V/S ratio.

Sampel	M% (mula-mula)	Faktor χ	M (%)
BR – V/S1	170.37	0.87	107.87
BR –V/S1.5	178.42	0.87	116.37
BR – V/S2	177.73	0.87	60.26
BR – V/S2.5	82.38	0.87	36.19
BR –V/S 3	80.39	0.87	112.07
Rata-rata	137.86	0.87	72.13

Tabel 18. Nilai faktor χ dan perbaikan tingkat kesalahan (M%) yang dihasilkan untuk sampel beton ringan dengan variasi curing periode

Sampel	M% (mula-mula)	Faktor χ	M (%)
BR – 1	17.71	1	17.71
BR – 4	31.24	1	31.24
BR – 7	26.85	1	26.85
BR – 14	30.90	1	30.90
BR –21	36.24	1	36.24
BR –28	35.56	1	35.56
Rata-rata	29.75	1	29.75

Tabel 19. Nilai faktor χ dan perbaikan tingkat kesalahan (M%) yang dihasilkan

Identifikasi	M% (mula-mula)	Faktor χ	M (%)
Sampel			
BR 0%	136.865	1.6447	36.372
BR 25%	105.091	1.4795	27.257
BR 50%	57.841	1.324	16.647
BR 75%	146.164	1.6937	41.574
BR 100%	129.292	1.6129	25.027
Rata-rata	102.304	1.5509	26.716

KESIMPULAN

1. Penerapan model ACI 209R-92 untuk memprediksi susut jangka panjang dengan data susut jangka pendek (28 hari) menghasilkan nilai kesalahan prediksi yang tinggi. Perbaikan prediksi dapat dilakukan dengan modifikasi model tersebut dengan memanfaatkan data susut jangka panjang dan mengubah nilai paruh waktunya.
2. Persamaan (3) diusulkan sebagai model untuk memprediksi susut jangka panjang beton ringan dengan data susut 28 hari.
3. Tingkat kesalahan prediksi yang diharapkan dengan Persamaan (3) adalah 27%

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terlaksana atas bantuan dana dari Direktorat Pendidikan Tinggi melalui Program Penelitian Hibah Bersaing XIV dengan surat perjanjian pelaksanaan penelitian No. 035/SP2H/PP/DP2M/III/2007 tanggal 29 Maret 2007. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak yang terlibat dalam pelaksanaan pekerjaan di laboratorium: Tri Handoko serta mahasiswa S1 Jurusan Teknik Sipil UNS: Dina, Sutrisno dan Zamzami.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 209R-92, 2002, *Prediction of creep, shrinkage, and temperature effects in concrete structures*, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1: Material and General Properties of Concrete.
- ACI Committee 211.2-98, 2002, *Standard Practice for Selecting Proportions of Structural Lightweight Concrete*, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1: Material and General Properties of Concrete.
- Brooks, JJ and Neville, AM, 1975: Estimating long-term creep and shrinkage from short-term tests, *Magazine of Concrete Research*, Vol. 27 No. 90, pp, 3-12.
- Brooks, JJ and Neville, AM, 1978: Predicting long-term creep and shrinkage from short-term tests, *Magazine of Concrete Research*, Vol. 30 No. 103, pp, 51-61.
- Kayali., O., Haque., M.N., Zhu., B, 1999: Drying Shrinkage of Fibre-Reinforced Lightweight Aggregate Concrete Containing Fly Ash, *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, pp, 1835-1840
- Neville, AM, Dilger, WH and Brooks, JJ, 1983, *Creep of plain and structural concrete*, Longman Group Limited, Essex, England.