

# EFEK SUSUT DAN RANGKAK TERHADAP REDISTRIBUSI TEGANGAN DAN LENDUTAN PADA ELEMEN BALOK PRATEGANG (STUDI KASUS HOTEL ALILA, SURAKARTA)

Satya Adie Pratama<sup>1)</sup>, SA Kristiawan<sup>2)</sup>, Edy Purwanto<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

<sup>2),3)</sup> Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: civiluns@uns.ac.id

## Abstract

*In the development of the construction world, a lot of development in the designation for buildings with very long spans such as conference hall, sports hall and other buildings that do not allow a lot of columns along the beam. The main problem in the planning of buildings with long-span is the risk of cracks in beam structures that occur as a result of the low ability of concrete to receive tensile force. To reduce or prevent the development of these cracks, a force in the direction of the longitudinal structural elements. Style known as prestressing force aims to prevent the development of cracks by means of eliminating or reducing the pedestal section and the tensile stress on the critical areas of workload conditions. But each prestressed concrete planning must also take into account the long-term effects. One of the important stages of the calculation for the calculation of prestressed concrete is the calculation of the loss of prestress due to shrinkage and creep in concrete, which will result in a change in voltage and deflections in prestressed steel. This study aims to further examine how long-term effects of creep and shrinkage in prestressed beam planning. The method used to predict the value of shrinkage and creep is a method of ACI 209R, CEB-FIP 1990, and AS 3600-2001. Shrinkage and creep values are used to predict the changes in stress that occur when the effects of changes in deflection at critical areas on workload conditions. From the calculations, the ultimate value for the shrinkage with the method ACI 209R, CEB-FIP 1990, and the AS 3600-2001 respectively are  $-1.062 \times 10^{-4}$ ,  $-4.430 \times 10^{-4}$ , and  $-2.735 \times 10^{-4}$ . While the ultimate creep values are respectively 1.3197; 1.8450, and 1.6465. The effects of shrinkage and creep in prestressed beam elements result in a reduction in the prestressing force may also result in changes in the value of the voltage and deflection in the concrete where the effect of the reduction will decrease over time until it reaches the ultimate and considered constant. The maximum value of the voltage change on the layer of prestressing steel after the age of 30 years of research is 179.1796 MPa. While the results of the maximum deflection at the end of the study period is 14.0877 mm. These results indicate that planning prestressed beam is still in accordance with safety standards and comfort. Where the steel is still in a state of elastic and deflections do not exceed the prescribed standards of comfort (L / 300)*

**Keywords:** Prestressed Concrete, Shrinkage, Creep, Stress, Deflection

## Abstrak

Dalam perkembangan dunia konstruksi, banyak pembangunan yang di peruntukkan untuk bangunan dengan bentang yang sangat panjang seperti gedung pertemuan, gedung olahraga maupun gedung lain yang tidak memperbolehkan banyak kolom di sepanjang balok. Masalah utama pada perencanaan bangunan dengan bentang yang panjang adalah resiko keretakan pada struktur balok yang terjadi akibat rendahnya kemampuan beton untuk menerima gaya tarik. Untuk mengurangi atau mencegah berkembangnya retak tersebut, diberikan gaya ke arah longitudinal elemen struktural. Gaya yang dikenal dengan gaya prategang ini bertujuan untuk mencegah berkembangnya retak dengan cara mengeliminasi atau mengurangi tegangan tarik dibagian tumpuan dan daerah kritis pada kondisi beban kerja. Namun tiap perencanaan beton prategang juga harus memperhitungkan efek jangka panjangnya. Salah satu tahapan perhitungan yang penting untuk perhitungan beton prategang adalah perhitungan besarnya kehilangan prategang akibat adanya susut dan rangkak pada beton, di mana akan berakibat pada perubahan tegangan dan lendutan pada baja prategang. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji lebih jauh tentang bagaimana pengaruh jangka panjang dari rangkak dan susut pada perencanaan balok prategang. Metode yang digunakan saat memprediksi besarnya nilai susut dan rangkak adalah metode ACI 209R, CEB-FIP 1990, dan AS 3600-2001. Nilai susut dan rangkak tersebut digunakan untuk memprediksi besarnya perubahan tegangan yang terjadi di mana pengaruh perubahan tegangan tersebut digunakan juga untuk memprediksi besarnya perubahan lendutan pada daerah kritis pada kondisi beban kerja. Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai ultimate untuk susut dengan metode ACI 209R, CEB-FIP 1990, dan AS 3600-2001 berturut-turut adalah  $-1,062 \times 10^{-4}$ ,  $-4,430 \times 10^{-4}$ , dan  $-2,735 \times 10^{-4}$ . Sedangkan nilai rangkak ultimate berturut-turut adalah 1,3197; 1,8450; dan 1,6465. Efek susut dan rangkak pada elemen balok prategang berakibat pada pengurangan gaya prategang yang juga berakibat pada perubahan nilai tegangan dan lendutan pada beton tersebut dimana efek pengurangannya akan semakin berkurang seiring berjalannya waktu hingga mencapai ultimate dan dianggap konstan. Nilai perubahan tegangan akhir maksimum pada layer baja prategang setelah umur penelitian selama 30 tahun adalah 179,1796 Mpa. Sedangkan hasil lendutan maksimum pada akhir masa penelitian adalah 14,0877 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa perencanaan balok prategang tersebut masih sesuai dengan standar keamanan dan kenyamanan. Dimana baja masih berada pada kondisi elastis dan lendutan tidak melebihi standar kenyamanan yang ditentukan (L/300).

**Kata Kunci :** Response Spectrum, Displacement, Drift, Base Shear.

## PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan di Indonesia semakin meningkat. Dimana, ragam berdasarkan fungsi bangunan pun semakin variatif. Maka dibutuhkan suatu pengembangan dari waktu ke waktu untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan bangunan yang sesuai dengan fungsi. Dalam perkembangan dunia konstruksi, banyak pembangunan

yang di peruntukkan untuk bangunan dengan bentang yang sangat panjang seperti gedung pertemuan, gedung olahraga maupun gedung lain yang tidak memperbolehkan banyak kolom di sepanjang balok.

Masalah utama dalam perencanaan bangunan dengan bentang yang panjang adalah resiko keretakan pada struktur balok yang terjadi akibat rendahnya kemampuan beton dalam menerima gaya tarik. Kuat tarik yang dimiliki beton bervariasi, berkisar antara 8 hingga 14 persen dari kuat tekannya. Karena rendahnya kapasitas tarik tersebut, maka resiko retak lentur dapat terjadi pada taraf pembebanan yang masih rendah. Untuk mengantisipasi hal tersebut diberikan penambahan tulangan guna mengantisipasi gaya tarik yang terjadi pada balok. Pemberian tulangan pada balok ini dikenal dengan istilah beton bertulang. Namun terkait fungsi bangunan yang menuntut penggunaan bentang yang panjang, penggunaan beton bertulang tidaklah cukup dan justru menjadi sangat beresiko. Hal ini dikarenakan balok dengan bentang sangat berlebihan, menghasilkan struktur dengan beban mati yang lebih berat, dan akibatnya retak dan defleksi jangka panjang juga semakin besar. Maka diperlukan suatu cara yang mampu mereduksi dimensi penampang, namun tetap mampu menampung beban sesuai rencana, sehingga resiko keretakan dapat direduksi. Untuk mengurangi atau mencegah berkembangnya retak tersebut, gaya konsentris atau eksentris diberikan ke arah longitudinal elemen struktural. Gaya ini mencegah berkembangnya retak dengan cara mengeliminasi atau mengurangi tegangan tarik dibagian tumpuan dan daerah kritis pada kondisi beban kerja.

Gaya longitudinal yang diterapkan disebut gaya prategang, yaitu gaya tekan yang memberikan prategangan pada penampang disepanjang bentang suatu elemen struktural sebelum bekerjanya beban mati dan beban hidup. Jenis dan besarnya pemberian gaya prategang ditentukan berdasarkan jenis sistem yang dilaksanakan dan panjang bentang yang dikehendaki. Namun tiap perencanaan beton prategang juga harus memperhitungkan efek jangka panjangnya. Salah satu tahapan perhitungan yang penting untuk perhitungan beton prategang adalah perhitungan besarnya kehilangan prategang (*loss of prestress*). Yang menjadi salah satu penyebab terjadinya kehilangan prategang adalah akibat adanya susut dan rangkai pada beton, dimana akan berakibat pada perubahan tegangan dan lendutan pada baja pretegang.

## LANDASAN TEORI

Keuntungan penggunaan gaya prategang adalah sebagai berikut :

1. Komponen struktur prategang mempunyai tinggi lebih kecil dibandingkan beton bertulang untuk kondisi bentang dan beban yang sama. Pada umumnya, tinggi komponen struktur beton prategang berkisar antara 65 sampai 80 persen dari tinggi komponen struktur beton bertulang. Dengan demikian, komponen struktur prategang membutuhkan lebih sedikit beton.
2. Penggunaan tulangan yang hanya berkisar antara 20 sampai 35 persen banyaknya tulangan.
3. Rekapitulasi berat sendiri berkurang akibat pengurangan dimensi balok.
4. Penghematan jangka panjang secara tidak langsung juga cukup besar karena hanya membutuhkan perawatan yang lebih sedikit, yang berarti daya guna lebih lama sebagai akibat dari kontrol kualitas yang lebih baik pada beton.

Susut adalah perubahan panjang dari benda uji selama periode tertentu, dimana perubahan panjang itu disebabkan bukan karena gaya eksternal melainkan akibat evaporasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya susut adalah komposisi semen, rasio air semen, agregat, jumlah kandungan air dalam adukan beton, rawatan keras beton, nilai banding antara volume dan muka beton, ukuran elemen beton, bahan tambah adukan beton, dan kondisi kelembapan lingkungan sekitar.

Rangkai adalah sifat di mana beton mengalami perubahan bentuk (deformasi) permanen akibat beban tetap yang bekerja padanya. Rangkai timbul dengan intensitas yang semakin berkurang untuk selang waktu tertentu dan kemungkinan berakhir setelah beberapa tahun. Besarnya deformasi rangkai sebanding dengan besarnya beban yang ditahan dan jangka waktu pembebanan. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya rangkai adalah properti campuran, faktor air semen, kelembapan relatif, temperatur, umur beton saat pembebanan, besarnya pembebanan, lamanya waktu pembebanan, perbandingan volume dan luas permukaan struktur, dan nilai slump.

Susut dan rangkai menyebabkan suatu perubahan secara berkala pada tegangan beton prategang. Perubahan ini melambat dan akhirnya berhenti setelah beberapa tahun. Perubahan dari tegangan ini berakibat pada perubahan gaya beton prategang dan dapat dikalkulasi efek waktunya terhadap perubahan bentuk seperti pemendekan dan defleksi pada beton.

## METODE

Langkah-langkah dalam metode analisis ini yaitu pengumpulan data dan studi literatur. Memodelkan balok secara 2D (dua dimensi) dengan menggunakan *software* SAP2000. Menghitung dan menginput beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Melakukan analisis untuk mendapatkan nilai momen yang digunakan untuk perhitungan tegangan awal pada layer beton bagian atas dan bawah. Kemudian pengaruh susut dan rangkai seiring waktu diperhitungkan. Metodologi yang dipakai dalam perhitungannya koefisien susut dan rangkai adalah metode *ACI*

209R,CEB-FIP 1990, dan AS 3600-2001. Hasil dari perhitungan nilai koefisien susut dan rangkai tersebut digunakan untuk perhitungan perubahan tegangan pada balok. Pada tahap akhir, hasil dari perubahan tegangan digunakan untuk perhitungan perubahan lendutan pada balok di daerah lapangan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Perhitungan Tegangan Awal pada Layer Beton

Hasil tegangan awal dari nilai momen pada analisis dengan *software* SAP2000 selanjutnya dilakukan perhitungan nilai tegangan awal di layer atas dan bawah pada beton sesuai Persamaan [1] dan [2].

$$\sigma_{1(bawah)} = \frac{M_T \cdot y_1}{I_c} - \frac{P_{p1}}{A_c} - \frac{P_{p2}}{A_c} - \frac{P_{p1} \cdot e \cdot y_1}{I_c} - \frac{P_{p2} \cdot e \cdot y_1}{I_c} \dots\dots\dots [1]$$

$$\sigma_{2(atas)} = -\frac{M_T \cdot y_2}{I_c} - \frac{P_{p1}}{A_c} - \frac{P_{p2}}{A_c} + \frac{P_{p1} \cdot e \cdot y_2}{I_c} + \frac{P_{p2} \cdot e \cdot y_2}{I_c} \dots\dots\dots [2]$$

Hasil tegangan awal pada layer beton atas adalah :

$$\sigma_{1(bawah)} = -9,5655 \text{ MPa} \leq 0,5\sqrt{f'c} \dots\dots\dots (OK!!)$$

$$\sigma_{2(atas)} = -4,5276 \text{ MPa} \leq -0,45f'c \dots\dots\dots (OK!!)$$

$$a(\text{lendutan awal}) = 3,0407 \text{ mm (dari SAP2000)}$$

### Hasil Rekapitulasi Nilai Susut dan Rangkai *Ultimate* Metode *ACI 209R,CEB-FIP 1990, dan AS 3600-2001*

Langkah pertama untuk memprediksi besarnya nilai susut dan rangkai seiring waktu adalah dengan menghitung terlebih dahulu nilai susut dan rangkai *ultimate* yang diperoleh dari besarnya nilai koreksi sesuai dengan metode yang dipakai digunakan.

Hasil Rekapitulasi Nilai Susut dan Rangkai *Ultimate* Metode *ACI 209R,CEB-FIP 1990, dan AS 3600-2001* pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Nilai Susut dan Rangkai *Ultimate* Metode *ACI 209R,CEB-FIP 1990, dan AS 3600-2001*

Metode	Nilai susut, $\epsilon_{cs(t)}$	Nilai rangkai, $\Delta(t)$
<i>ACI 209R</i>	$-1,063 \times 10^{-4}$	1,3197
<i>CEB-FIP 1990</i>	$-4,430 \times 10^{-4}$	1,8450
<i>AS 3600-2001</i>	$-2,735 \times 10^{-4}$	1,646

### Analisis Data Hasil Perhitungan

#### Analisis Nilai Susut dan Rangkai seiring waktu

Hasil Rekapitulasi nilai susut seiring waktu metode *ACI 209R,CEB-FIP 1990, dan AS 3600-2001* pada Tabel 2.

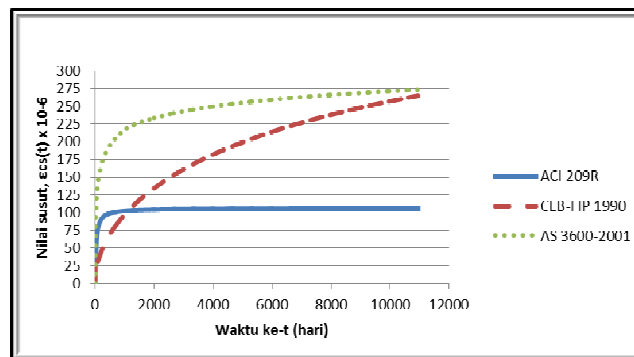
Tabel 2. Rekapitulasi Nilai Susut Seiring Waktu metode *ACI 209R,CEB-FIP 1990, dan AS 3600-2001*

Waktu ke- t (tahun)	Nilai susut, $\epsilon_{cs(t)}$		
	<i>ACI 209R</i>	<i>CEB-FIP 1990</i>	<i>AS 3600-2001</i>
1	$-9,691 \times 10^{-5}$	$-5,976 \times 10^{-5}$	$-5,426 \times 10^{-5}$
2	$-1,013 \times 10^{-4}$	$-8,376 \times 10^{-5}$	$-9,678 \times 10^{-5}$
4	$-1,037 \times 10^{-4}$	$-1,164 \times 10^{-4}$	$-1,393 \times 10^{-4}$
6	$-1,045 \times 10^{-4}$	$-1,402 \times 10^{-4}$	$-1,642 \times 10^{-4}$
8	$-1,049 \times 10^{-4}$	$-1,592 \times 10^{-4}$	$-1,829 \times 10^{-4}$
10	$-1,052 \times 10^{-4}$	$-1,752 \times 10^{-4}$	$-1,973 \times 10^{-4}$
12	$-1,054 \times 10^{-4}$	$-1,890 \times 10^{-4}$	$-2,092 \times 10^{-4}$
14	$-1,055 \times 10^{-4}$	$-2,011 \times 10^{-4}$	$-2,192 \times 10^{-4}$
16	$-1,056 \times 10^{-4}$	$-2,296 \times 10^{-4}$	$-2,279 \times 10^{-4}$
20	$-1,057 \times 10^{-4}$	$-2,304 \times 10^{-4}$	$-2,424 \times 10^{-4}$
22	$-1,057 \times 10^{-4}$	$-2,384 \times 10^{-4}$	$-2,485 \times 10^{-4}$
25	$-1,058 \times 10^{-4}$	$-2,493 \times 10^{-4}$	$-2,568 \times 10^{-4}$
30	$-1,059 \times 10^{-4}$	$-2,648 \times 10^{-4}$	$-2,687 \times 10^{-4}$

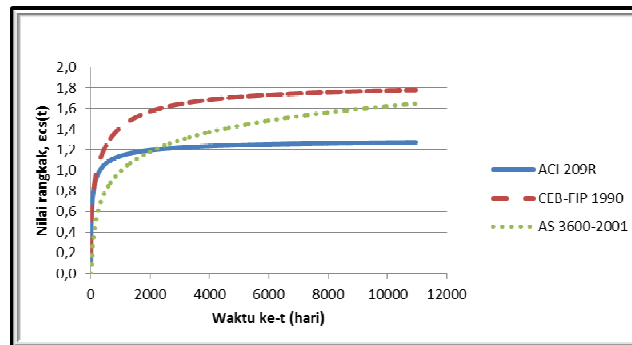
Hasil Rekapitulasi nilai rangkakseiring waktumetode *ACI 209R*,*CEB-FIP 1990*, dan *AS 3600-2001*pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Nilai Rangkak Seiring Waktu Metode *ACI 209R*,*CEB-FIP 1990*, dan *AS 3600-2001*

Waktu ke- t (tahun)	Nilai rangkak, $\phi(t)$		
	<i>ACI 209R</i>	<i>CEB-FIP 1990</i>	<i>AS 3600-2001</i>
1	1,0229	1,1453	0,5228
2	1,1076	1,3336	0,8830
4	1,1717	1,5042	1,1015
6	1,2008	1,5876	1,1103
8	1,2182	1,6378	1,1165
10	1,23	1,6714	1,1213
12	1,2388	1,6956	1,1227
14	1,2455	1,7139	1,1230
16	1,2509	1,7281	1,1230
20	1,2591	1,7490	1,1234
22	1,2624	1,7568	1,1236
25	1,2664	1,7665	1,1237
30	1,2717	1,7786	1,1240



Gambar 1. Grafik hubungan antara nilai susut terhadap waktu



Gambar 2. Grafik hubungan antara nilai rangkak terhadap waktu

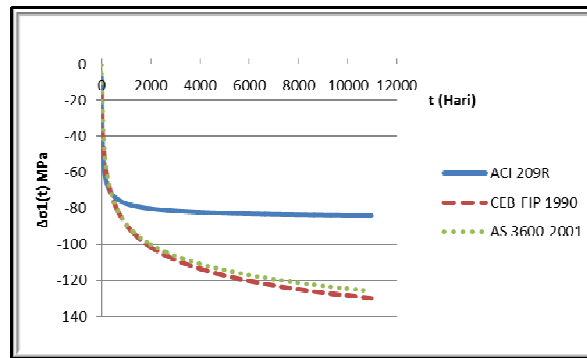
Berdasarkan hasil dari tabel 2 dan 3 diatas, terlihat bahwa kenaikan nilai susut dan rangkak seiring waktu semakin kecil dan mencapai *ultimate* pada waktu tertentu di mana perubahan nilai semakin mendekati konstan. Nilai susut dan rangkak ini akan digunakan untuk perhitungan perubahan nilai tegangan pada layer balok.

### Analisis Perubahan Nilai Tegangan akibat Pengaruh Susut dan Rangkak

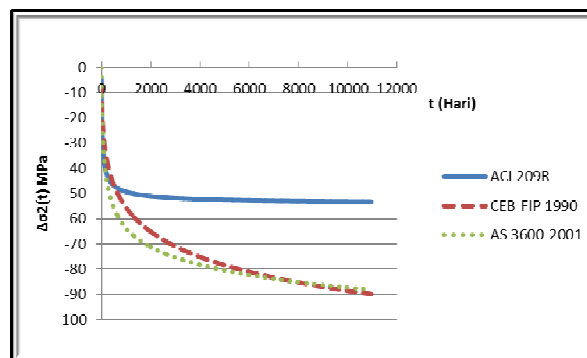
Tabel 4 menunjukkan nilai perubahan tegangan pada layer dimana efek susut dan rangkak sudah diperhitungkan.

Tabel 4. Rekapitulasi Nilai Rangkak Seiring Waktu Metode *ACI 209R*, *CEB-FIP 1990*, dan *AS 3600-2001*

Waktu ke- t (tahun)	<i>ACI 209R</i> (MPa)		<i>CEB-FIP 1990</i> (MPa)		<i>AS 3600-2001</i> (MPa)	
	$\Delta\sigma_{p1(t)}$	$\Delta\sigma_{s2(t)}$	$\Delta\sigma_{p1(t)}$	$\Delta\sigma_{s2(t)}$	$\Delta\sigma_{p1(t)}$	$\Delta\sigma_{s2(t)}$
1	-70,9832	-45,4110	-70,8384	-42,7038	-70,4608	-51,7449
2	-75,6930	-48,3371	-83,2987	-51,3913	-83,1536	-60,1338
4	-79,0488	-50,3732	-95,9113	-60,7519	-95,0303	-67,9401
6	-80,5178	-51,2510	-103,1363	-66,4416	-101,4983	-72,1281
8	-81,3813	-51,7629	-108,1585	-70,5564	-106,0089	-75,0637
10	-81,9629	-52,1061	-111,9916	-73,7875	-109,4638	-77,3205
12	-82,3873	-52,3556	-115,0822	-76,4487	-112,2587	-79,1513
14	-82,7138	-52,5470	-117,6649	-78,7093	-114,6023	-80,6902
16	-82,9744	-52,6995	-119,8777	-80,6715	-116,6184	-82,0166
20	-83,3682	-52,9293	-123,5179	-83,9468	-119,9584	-84,2192
22	-83,5216	-53,0186	-125,1069	-85,3937	-121,3741	-85,1548
25	-83,7147	-53,1309	-127,0711	-87,1953	-123,2628	-86,4047
30	-83,9665	-53,2771	-129,8936	-89,8080	-125,9365	-88,1777



Gambar 3. Grafik Hubungan antara Perubahan Tegangan Akibat Susut dan Rangkak terhadap Waktu pada Layer 1 (bawah)



Gambar 4. Grafik Hubungan antara Perubahan Tegangan Akibat Susut dan Rangkak terhadap Waktu pada Layer 2 (atas)

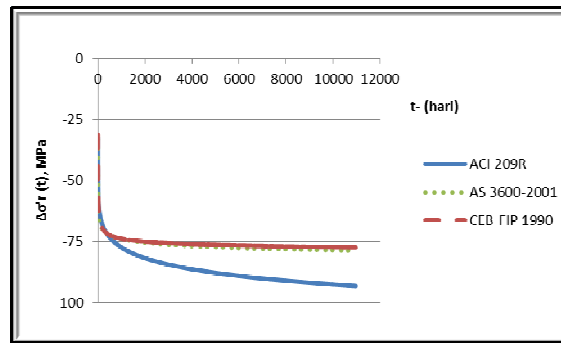
### Analisis Pengaruh Reduksi Relaksasi Baja

Selain kehilangan tegangan, efek akibat susut dan rangkak seiring berjalannya waktu juga berpengaruh pada hilangnya elastisitas dari baja prategang yang terdapat pada layer bawah balok, di mana nantinya pengaruh kehilangan prategang bukan hanya berdasarkan susut dan rangkak saja, namun juga dari reduksi akibat elastisitas baja yang juga berpengaruh terhadap redistribusi efek susut dan rangkak pada perubahan tegangan di balok.

Tabel 5 menunjukkan nilai reduksi akibat relaksasi baja yang terjadi seiring besarnya nilai susut dan rangkak yang terjadi.

Tabel 5. Hasil Reduksi akibat Elastisitas Baja Prategang pada Layer Beton dengan Metode *ACI 209R*, *CEB-FIP 1990*, dan *AS 3600-2001*

Waktu ke- t (tahun)	$\sigma'_{r(t)}$ , MPa		
	<i>ACI 209R</i> (MPa)	<i>CEB-FIP 1990</i> (MPa)	<i>AS 3600-2001</i> (MPa)
1	-71,4923	-71,5341	-71,6434
2	-75,5004	-73,2153	-73,2582
4	-79,7672	-74,5129	-74,7787
6	-82,3676	-75,1731	-75,6723
8	-84,2531	-75,6124	-76,2721
10	-85,7364	-75,9393	-76,7189
12	-86,9607	-76,1982	-77,0726
14	-88,0038	-76,4124	-77,3639
16	-88,9130	-76,5953	-77,6108
20	-90,4432	-76,8980	-78,0121
22	-91,1007	-77,0275	-78,1794
25	-91,9859	-77,2028	-78,4000
30	-93,2548	-77,4589	-78,7074



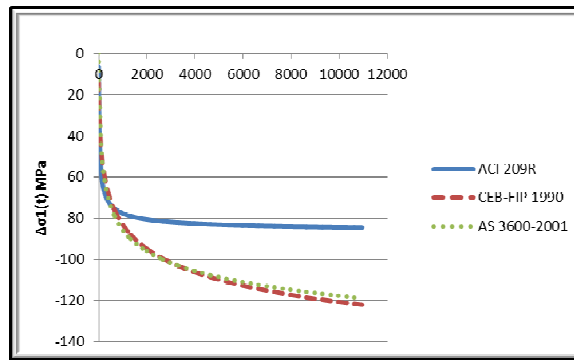
Gambar 5. Grafik hubungan antara reduksi akibat relaksasi baja terhadap waktu

Gambar 5 menunjukkan bahwa efek dari besarnya nilai susut dan rangkai juga berakibat pada berkurangnya nilai elastisitas pada baja prategang. Hal ini menunjukkan bahwa untuk memperhitungkan nilai perubahan tegangan juga dimasukkan nilai reduksi akibat elastisitas baja prategang.

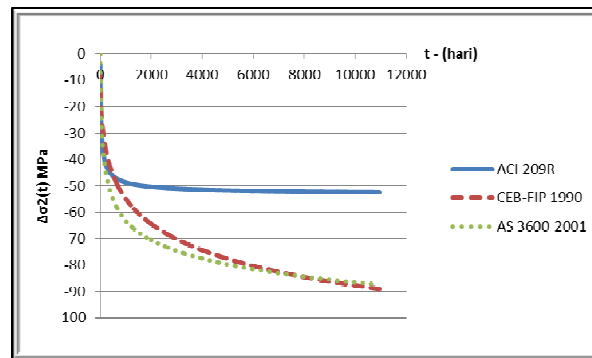
Hasil perhitungan perubahan tegangan akibat efek susut dan rangkai serta reduksi akibat elastisitas baja ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perubahan Tegangan pada Layer Beton dengan Metode *ACI 209R*, *CEB-FIP 1990*, dan *AS 3600-2001*

Waktu ke- t (tahun)	<i>ACI 209R</i> (MPa)		<i>CEB-FIP 1990</i> (MPa)		<i>AS 3600-2001</i> (MPa)	
	$\Delta\sigma_{p1(t)}$	$\Delta\sigma_{s2(t)}$	$\Delta\sigma_{p1(t)}$	$\Delta\sigma_{s2(t)}$	$\Delta\sigma_{p1(t)}$	$\Delta\sigma_{s2(t)}$
1	-71,3097	-44,8490	-66,3220	-42,1239	-0,5270	-42,1239
2	-76,0601	-47,7052	-77,8797	-50,7466	-59,5529	-50,7466
4	-79,4546	-49,6747	-89,6198	-60,0532	-67,2973	-60,0532
6	-80,9453	-50,5152	-96,4040	-65,7168	-67,3044	-60,0627
8	-81,8237	-51,0013	-101,1564	-69,8154	-67,3114	-60,0721
10	-82,4168	-51,3249	-104,8064	-73,0353	-67,3185	-60,0816
12	-82,8503	-51,5586	-107,7639	-75,6881	-67,3255	-60,0910
14	-83,1844	-51,7368	-110,2452	-77,9420	-67,3326	-60,1004
16	-83,4517	-51,8779	-112,3779	-79,8989	-67,3396	-60,1098
20	-83,8563	-52,0890	-115,8989	-83,1658	-67,3467	-60,1192
22	-84,0143	-52,1705	-117,3826	-84,5549	-67,3537	-60,1286
25	-84,2135	-52,2722	-119,3489	-86,4067	-67,3607	-60,1380
30	-84,4740	-52,4035	-122,0968	-89,0134	-67,3677	-60,1474



Gambar 6. Grafik Hubungan antara Perubahan Tegangan akibat Susut, Rangkak dan Reduksi akibat Relaksasi Baja terhadap Waktu pada Layer 1 (bawah)



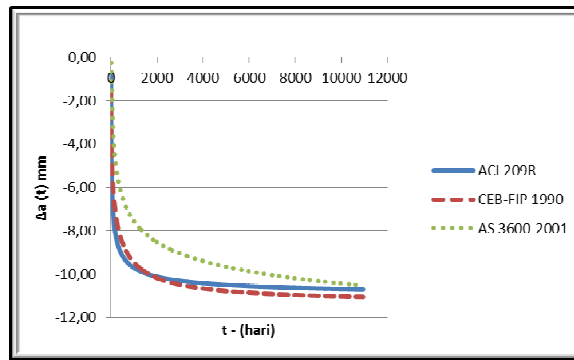
Gambar 6. Grafik Hubungan antara Perubahan Tegangan akibat Susut, Rangkak dan Reduksi akibat Relaksasi Baja terhadap Waktu pada Layer 2 (atas)

Hasil perhitungan perubahan tegangan diatas selanjutnya akan digunakan dalam perhitungan lendutan yang terjadi pada balok prategang akibat pengaruh susut, rangkak, dan juga reduksi akibat elastisitas baja prategang.

### Analisis Kurvatur dan Lendutan

Tabel 7 menunjukkan nilai perubahan kurvatur dan defleksi yang terjadi pada balok sesuai dengan besarnya perubahan tegangan yang terjadi pada layer beton.

Waktu ke- t (tahun)	ACI 209R		ACI 209R		CEB-FIP 1990	
	$\Delta\Psi$	$\Delta\sigma_s(t)$ (mm)	$\Delta\Psi$	$\Delta\sigma_s(t)$ (mm)	$\Delta\Psi$	$\Delta\sigma_s(t)$ (mm)
1	$-4,809 \times 10^{-8}$	-8,8357	$-4,397 \times 10^{-8}$	-8,0801	$-3,219 \times 10^{-8}$	-5,9143
2	$-5,153 \times 10^{-8}$	-9,4682	$-4,931 \times 10^{-8}$	-9,0602	$-3,842 \times 10^{-8}$	-7,0592
4	$-5,412 \times 10^{-8}$	-9,9440	$-5,373 \times 10^{-8}$	-9,8728	$-4,400 \times 10^{-8}$	-8,0858
6	$-5,530 \times 10^{-8}$	-10,1611	$-5,577 \times 10^{-8}$	-10,2470	$-4,700 \times 10^{-8}$	-8,6358
8	$-5,601 \times 10^{-8}$	-10,2921	$-5,695 \times 10^{-8}$	-10,4653	$-4,901 \times 10^{-8}$	-9,0059
10	$-5,650 \times 10^{-8}$	-10,3821	$-5,774 \times 10^{-8}$	-10,6089	$-5,051 \times 10^{-8}$	-9,2821
12	$-5,686 \times 10^{-8}$	-10,4488	$-5,829 \times 10^{-8}$	-10,7106	$-5,171 \times 10^{-8}$	-9,5012
14	$-5,715 \times 10^{-8}$	-10,5009	$-5,870 \times 10^{-8}$	-10,7865	$-5,269 \times 10^{-8}$	-9,6820
16	$-5,738 \times 10^{-8}$	-10,5430	$-5,902 \times 10^{-8}$	-10,8453	$-5,353 \times 10^{-8}$	-9,8354
20	$-5,773 \times 10^{-8}$	-10,6076	$-5,948 \times 10^{-8}$	-10,9301	$-5,489 \times 10^{-8}$	-10,0855
22	$-5,787 \times 10^{-8}$	-10,6332	$-5,966 \times 10^{-8}$	-10,9617	$-5,546 \times 10^{-8}$	-10,1900
25	$-5,804 \times 10^{-8}$	-10,6657	$-5,986 \times 10^{-8}$	-10,9999	$-5,621 \times 10^{-8}$	-10,3281
30	$-5,828 \times 10^{-8}$	-10,7089	$-6,012 \times 10^{-8}$	-11,0471	$-5,726 \times 10^{-8}$	-10,5209



Gambar 7. Grafik Hubungan antara Perubahan Lendutan akibat Susut, Rangkai dan Reduksi akibat Relaksasi Baja terhadap Waktu

## SIMPULAN

Setelah melakukan analisis struktur Gedung Hotel di Semarang menggunakan metode respon spektrum, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Efek susut dan rangkai pada elemen balok prategang berakibat pada pengurangan nilai gaya prategang yang juga berakibat pada perubahan nilai tegangan pada beton tersebut dimana efek pengurangannya akan semakin mengecil seiring berjalannya waktu hingga mencapai *ultimate*.
2. Perhitungan besarnya nilai susut dengan 3 metode yang digunakan yaitu *ACI 209R*, *CEB-FIP 1990*, dan *AS 3600-2001* hasil untuk nilai susut ultimate berturut-turut adalah  $-1,062 \times 10^{-4}$ ,  $-4,430 \times 10^{-4}$ , dan  $-2,735 \times 10^{-4}$ .
3. Perhitungan besarnya nilai rangkai dengan 3 metode yang digunakan yaitu *ACI 209R*, *CEB-FIP 1990*, dan *AS 3600-2001* hasil untuk nilai rangkai *ultimate* berturut-turut adalah 1,3197; 1,8450; dan 1,6465..
4. Pada umur penelitian 30 tahun, nilai susut dengan metode *ACI 209R* dan *AS 3600-2001* telah mencapai *ultimate* sedangkan untuk metode *CEB-FIP 1990* nilai susut masih 59% dari nilai susut *ultimate*. Namun untuk nilai rangkai, pada umur penelitian 30 tahun, nilai rangkai sudah mencapai *ultimate* dimana perubahan setelah itu mendekati konstan.
5. Efek dari perubahan tegangan pada balok tersebut mampu mempengaruhi besarnya nilai lendutan yang terjadi pada balok dimana ditinjau ditengah bentang. Nilai perubahan tegangan untuk metode *ACI 209R*, *CEB-FIP 1990*, dan *AS 3600-2001* hasilnya berturut-turut adalah : 13,7495 mm; 14,0877 mm; 13,5615 mm. Nilai lendutan yang dihasilkan oleh balok masih berada pada nilai yang aman sesuai dengan standar kenyamanan balok.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Prof. SA Kristiawan, ST, MSc, PhD dan Edy Purwanto, ST, MT yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan pada penelitian ini.

## REFERENSI

- American Concrete Institute. ACI 209R-92. 1997. *Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures*. United States: ACI committee 209R.
- AS Santhi, J. Prasad. 2007. *Effects of creep and shrinkage on the deflection of RCC two way flat plates*. Asian Journal of Civil Engineering, Vol 8: 267-282.
- Comite Euro-International du Beton-Federation Internationale de la Precontrainte. CEB-FIP model code 90. 1990. *International recommendations for the design and construction of concrete structure*. London: Cement and concrete association.
- Australian Standard. AS 3600. 2001. *Design properties of material*. Australia: Committee BD-02.
- Suryoatono, B. 2001. *Beton Prategang*. Jakarta: Erlangga
- R.I Gilbert. 2001. *Shrinkage, cracking, and deflection the serviceability of concrete structures*. Electronic Journal of Structural Engineering, 102:177-188
- Supartono, F.X. 1998. *Perhitungan kehilangan pratekan (loss of prestress) akibat susut dan rangkai pada beton dengan memperhitungkan variabilitas sifat-sifat beton*. Surabaya: Jurnal Institut Teknologi Sepuluh September.