

KAJIAN SUSUT BETON PADA STRUKTUR BETON BERTULANG YANG CEPAT BONGKAR PERANCAH STUDI KASUS GEDUNG ICT CENTER UNIVERSITAS DIPONEGORO

Gardha Satria Fadillah, Rizki Amalia Putri, Sri Tudjono^{*)}, Yulita Arni Priastiwi^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50275, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Pembongkaran bekisting biasanya dilakukan setelah beton berumur 14 hingga 28 hari, namun pada Gedung ICT Center Universitas Diponegoro bekisting sudah dibongkar pada saat beton berumur 7 hari. Pada saat pembongkaran tidak terjadi keretakan, tetapi setelah beberapa waktu balok tersebut mengalami keretakan. Keretakan terjadi ketika hanya ada berat sendiri dan beban hidup belum bekerja. Belum diketahui penyebab keretakan yang terjadi sehingga dilakukan kajian apakah rangkai atau susut yang menjadi faktor penyebab timbulnya retakan yang terjadi. Kajian susut beton bertulang ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah penyebab keretakan pada balok beton diakibatkan oleh susut beton atau faktor penyebab keretakan lainnya.

Metode kajian dilakukan dengan menganalisis keadaan serta kondisi balok dan pelat pada gedung ICT Center dengan pembebanan berupa beban mati yang bekerja seperti beton cair yang belum mengeras, bekisting, dan perancah yang dimodelkan dalam 2 kondisi. Analisis dengan menggunakan program SAP2000 digunakan untuk menghitung regangan tarik akibat momen dan regangan susut yang tidak memperhitungkan pengaruh pengekan tulangan akibat bongkar perancah pada usia beton baru mencapai 7 hari. Beton yang ditinjau adalah beton yang berumur 7, 14, 21, dan 28 hari pada daerah balok induk, balok anak, dan pelat lantai.

Hasil analisis menunjukkan bahwa regangan saat bekisting dilepas yaitu umur 7 hari sampai dengan 28 hari, nilai dari regangan tarik di tepi semakin mengecil untuk umur beton yang bertambah. Hasil perhitungan regangan akibat susut menunjukkan bahwa beton mengalami regangan susut pada saat 1 hingga 3 minggu setelah bekisting dilepas dan nilai regangan susut semakin kecil pada saat ditinjau terhadap beton umur 28 hari. Penjumlahan aljabar regangan tarik akibat momen dengan regangan akibat susut yang menghasilkan regangan total dibandingkan dengan batas crack. Didapatkan bahwa regangan total dari balok induk, balok anak 1, balok anak 2, dan pelat yang ditinjau pada kondisi 1 maupun kondisi 2 bernilai kurang dari batas crack, sehingga dapat disimpulkan bahwa beton tidak mengalami keretakan yang disebabkan oleh faktor susut pada beton.

Kata kunci : keretakan beton yang cepat bongkar perancah, regangan susut pada beton, regangan ijin tarik beton.

^{*)} *Penulis Penanggung Jawab*

ABSTRACT

Disassembling of the concrete formwork is usually done after the age of 14 to 28 days, but on Diponegoro University ICT Center building the formwork has been disassembled at the age of 7 days. At the time of disassembling concrete doesn't crack, but after some time the beams have cracks. Cracks occur when there is only it's own weight and live load has not worked. Not yet known the cause of the crack so that conducted the study whether creep or shrinkage factor in the cause of the cracks that occur. This study of reinforced concrete shrinkage is intended to determine the cause of cracks in concrete beams completely caused by concrete shrinkage or other factors causing cracks.

The method of this study is literature analyzing the circumstances and the condition of the beams and plates on the ICT Center building which involves determining of the dead weight which works such a liquid hardened concrete yet, the formworks and scaffoldings which modeled in two conditions. The results of analysis of SAP2000 used to calculate tensile strain due to moment and the shrinkage strain which ignores the effect of reinforcing restraints due to unloading scaffolding at the age of of 7 days. Concrete which reviewed is at the age of 7, 14, 21, and 28 days in the beams, joist and slab area.

The result of analysis to the beams dan plates were reviewed, showed that the strain at the time of the formwork was removed, on the age of 7 days, up to 28 days, the value of tensile strain on the edge was shrinking for the increased age of concrete. Calculation of strain due to the shrinkage showed that the strained shrinkage concrete during 1, 2, and 3 weeks after the formwork was removed and the shrinkage strain value become smaller when reviewed at the concrete age of 28 days. Algebraic summation of tensile strain due to moment with shrinkage strain produce a total strain that compared with a limit of crack. Produced that the total strain of the beams, joist 1, joist 2, and the plates were reviewed on the condition 1 or condition 2 valued less than the limit crack, so it can be concluded that the concrete does not have cracks caused by concrete shrinkage factor.

Keywords: *cracks of concrete which disassemble the scaffolding quickly, shrinkage strain of concrete, concrete tensile strain permit.*

PENDAHULUAN

Susut adalah sifat beton dimana mengecilnya volume beton akibat berkurangnya kadar air dalam beton tersebut. Sifat susut pada beton tidak dipengaruhi oleh beban. Yang berpengaruh dalam sifat susut adalah faktor air semen, air dan semen. Jika dicampur akan mengalami reaksi kimia dimana campuran tersebut akan menghasilkan suatu barang baru dan tidak dapat diurai kembali (Nawy, 1997). Kadar air pada saat pecampuran dengan semen harus tepat, bila tidak akan menyebabkan kelebihan air dan menyebabkan rongga pada mortar dan dapat menyebabkan keretakan.

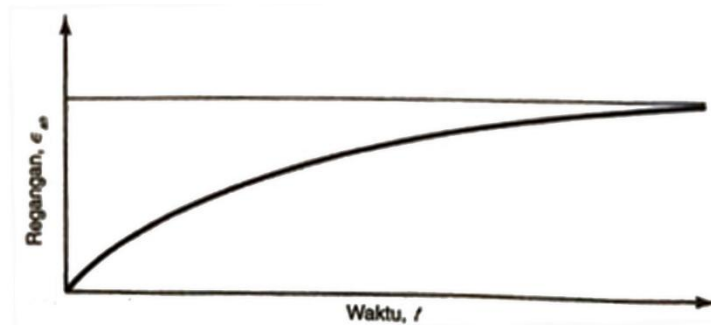
Sifat susut dapat menyebabkan keretakan. Susut dipengaruhi oleh luas dan volume penampang beton. Jika luas penampang dan volume beton semakin besar maka susut pada beton berlangsung cepat. Balok beton dapat mengalami keretakan akibat susut dikarenakan pada saat terjadi penguapan, bagian terluar dari beton tersebut yang terlebih dahulu mengalami penguapan. Bagian dalam dari beton tersebut belum terjadi penguapan, sehingga terjadi perbedaan volume antara beton bagian luar yang sudah terjadi penguapan dengan bagian beton yang dalam. Kesenjangan antara beton bagian luar dan dalam ini

menyebabkan adanya tegangan pada titik pertemuan antara keduanya dan dapat menyebabkan keretakan pada beton tersebut.

Pembongkaran bekisting umumnya dilakukan setelah beton berumur 14 hingga 28 hari, namun pada saat umur 7 hari bekisting balok di gedung tersebut sudah dibongkar. Pada saat pembongkaran belum terjadi keretakan, namun setelah beberapa waktu balok tersebut mengalami keretakan. Keretakan terjadi ketika hanya ada berat sendiri dan beban hidup belum bekerja. Untuk itu perlu diketahui relasi antara durasi pembekistingan beton dengan faktor susut beton, dan penyebab keretakan pada beton yang cepat bongkar perancah tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Susut adalah sifat beton yang berupa mengecilnya volume beton akibat berkurangnya kandungan air akibat dari hilangnya kelembaban beton saat terjadi proses pengerasan. Penyusutan pada beton akan berakibat terjadi keretakan pada beton yang masih plastis, dan terjadinya retak ini tentu akan mengakibatkan berkurangnya mutu beton yang dihasilkan. Susut adalah proses yang tidak *reversible*. Jika beton yang sudah benar-benar susut kemudian dijenuhkan dengan air, maka tidak akan tercapai volume asalnya (Nawy, 1997).



Gambar 1. Kurva susut-waktu
(Sumber: Nawy, 1997)

Gambar 1 menunjukkan pertambahan regangan susut ϵ_{sh} terhadap waktu. Laju perubahannya berkurang terhadap waktu karena beton yang semakin berumur akan semakin sedikit mengalami perubahan susut.

Besarnya regangan susut dapat dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\epsilon_{sh(t,t_c)} = \frac{(t-t_c)^\alpha}{f+(t-t_c)^\alpha} \epsilon_{shu} \quad (1)$$

dimana:

- $\epsilon_{sh(t,t_c)}$ = regangan susut pada saat $(t-t_c)$
- ϵ_{shu} = regangan ultimit susut
- t = umur beton (hari)
- t_c = waktu beton mulai mengering/ awal perawatan (hari)
- f = konstanta (hari)
- α = konstanta

ACI Committee 209 menunjukkan bahwa umumnya rata-rata regangan susut ultimate dapat digunakan nilai sebesar $(\epsilon_{SH})_u = 780 \times 10^{-6}$, sedangkan rata-rata nilai yang disarankan untuk α adalah 1,0 dan nilai f dapat dicari dengan Persamaan (2).

$$f = 26e^{\{1,42 \times 10^{-2} \left(\frac{V}{LP}\right)\}} \quad (2)$$

dimana V/LP adalah rasio volume-luas permukaan.

Jenis susut dibedakan menjadi 2 yaitu :

1. Susut Plastis

Susut plastis terjadi beberapa jam setelah beton segar dicor ke dalam acuan. Pada saat semen berada pada kondisi plastis, terjadi kontraksi penyusutan volumetrik dengan skala sekitar 1% lebih besar dari volume kering semen sebenarnya. Kontraksi ini dikenal sebagai susut plastis karena proses ini terjadi saat beton masih berada pada fase plastis.

2. Susut Pengerinan

Susut pengeringan terjadi setelah beton mencapai bentuk akhirnya dan proses hidrasi pada semen telah selesai. Susut pengeringan adalah berkurangnya volume elemen beton jika terjadi kehilangan uap air karena penguapan. Air bebas pada saat pertama pencampuran menyebabkan terjadinya susut beton. Pada saat pengeringan berlangsung, penguapan terus berjalan dan perubahan volume pasta semen tidak ditahan. Pada saat itulah terjadi kehilangan air sekitar 1%. Peristiwa ini dikenal sebagai susut pengeringan karena proses ini terjadi saat beton berada pada saat pengeringan. Faktor penyebab susut agregat, rasio air/semen, ukuran elemen beton, kondisi kelembapan di sekitar, banyaknya penulangan, bahan tambahan, jenis semen, dan karbonisasi.

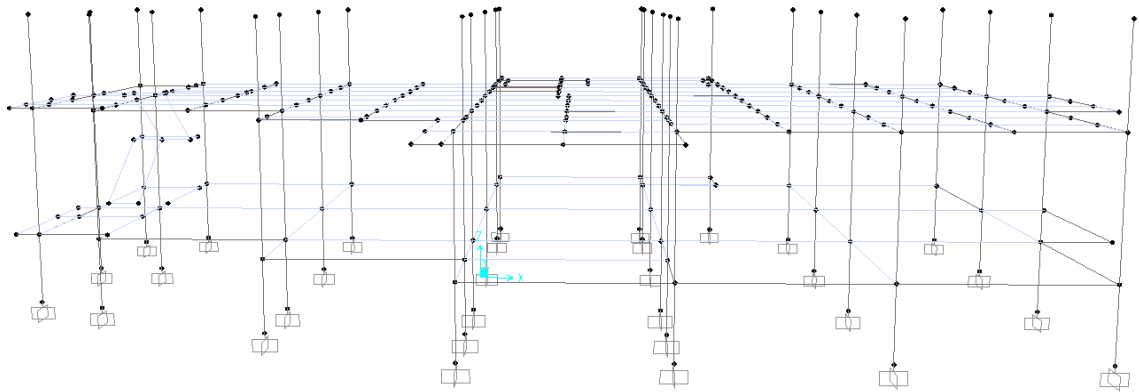
METODOLOGI

Tahapan analisis perhitungan beserta acuannya dalam kajian ini dimulai dengan melakukan studi pustaka yang bertujuan untuk mengetahui sifat dan karakteristik beton. Pengumpulan data digunakan untuk mengetahui data-data teknis dan spesifikasi dari bangunan gedung tersebut. Dari data yang didapat berupa gambar struktur Gedung ICT Center Undip dilanjutkan proses analisis keadaan serta kondisi balok gedung ICT yang retak dan digunakan untuk menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi keretakan pada balok. Analisis pemodelan yang dibuat dengan SAP 2000 menggunakan SNI Pembebanan 1727:2013 dan SNI Beton 2847:2013. Dari hasil analisis program SAP didapatkan gaya-gaya dalam yang nantinya digunakan untuk perhitungan tegangan dan regangan.

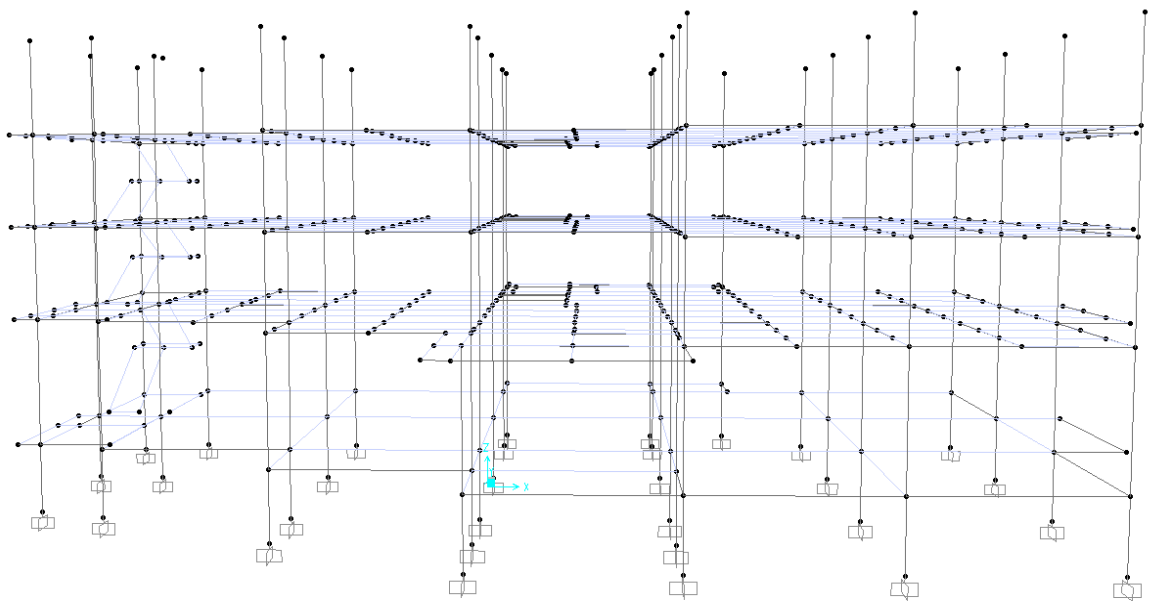
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis terhadap model dilakukan dalam 2 kondisi, yaitu :

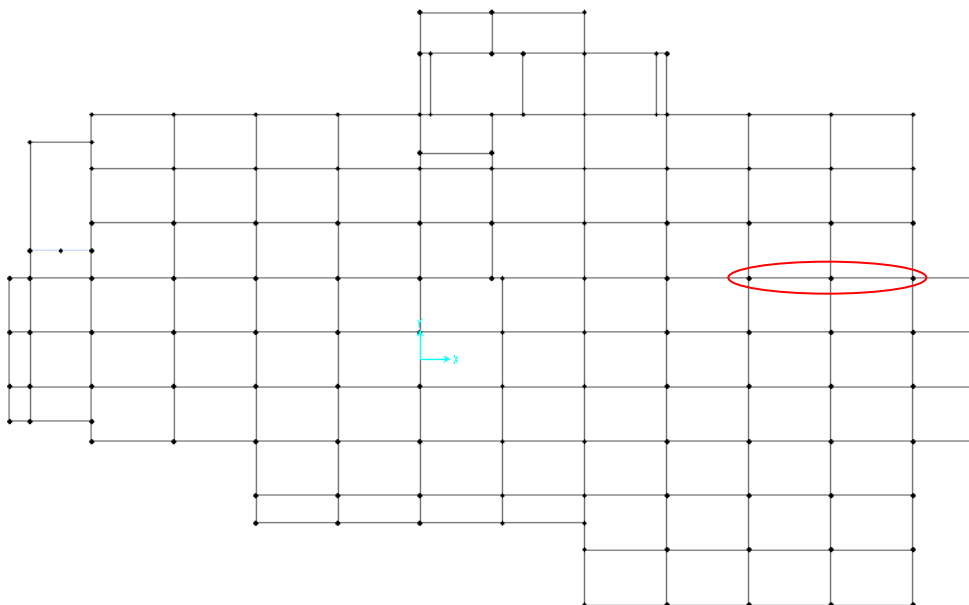
1. Kondisi pada saat setelah dilakukan pengecoran balok dan pelat pada lantai 3 dan beton belum mengering dimana terdapat bekisting dan *scaffolding* yang dibebankan pada balok dan pelat di lantai 2, sketsa kondisi 1 dapat dilihat pada Gambar 2.
2. Kondisi pada saat setelah dilakukan pengecoran balok dan pelat pada lantai 5 dan beton belum mengering dimana terdapat bekisting dan *scaffolding* yang dibebankan pada balok dan pelat di lantai 4, sketsa kondisi 2 dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Pemodelan Struktur Kondisi 1



Gambar 3. Pemodelan Struktur Kondisi 2

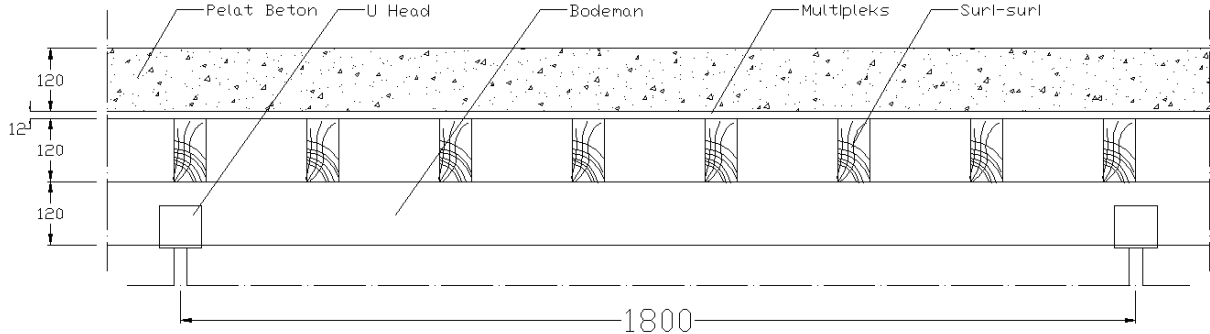


Gambar 4. Balok Arah X yang Ditinjau Pada Denah Lantai 2

Pembebanan

1. Pelat Lantai

Sketsa potongan bekisting pada pembebanan pelat lantai ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Sketsa Bekisting Pelat Lantai

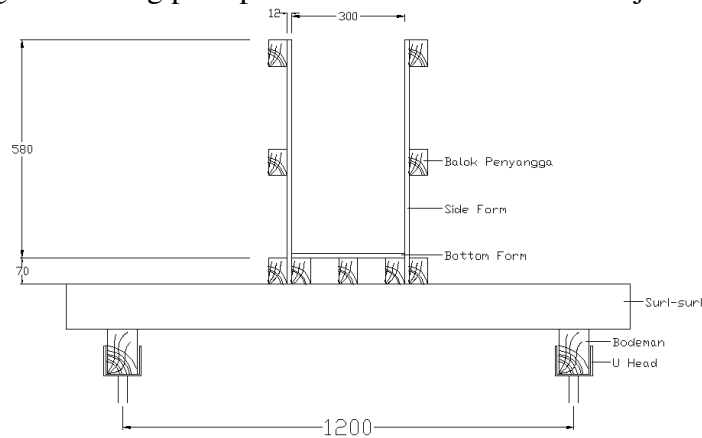
- Berat beton bertulang yang masih cair = 288 kg/m^2
- Berat bekisting (multipleks + suri-suri + bodeman) = $30,214 \text{ kg/m}^2$
- Berat scaffolding (1,8m • 1,2m) 2 set = $42,593 \text{ kg/m}^2$

Total beban mati merata pelat lantai:

$$288 \text{ kg/m}^2 + 30,214 \text{ kg/m}^2 + 42,593 \text{ kg/m}^2 = 378,552 \text{ kg/m}^2$$

2. Balok Induk

Sketsa potongan bekisting pada pembebanan balok induk ditunjukkan pada Gambar 6.



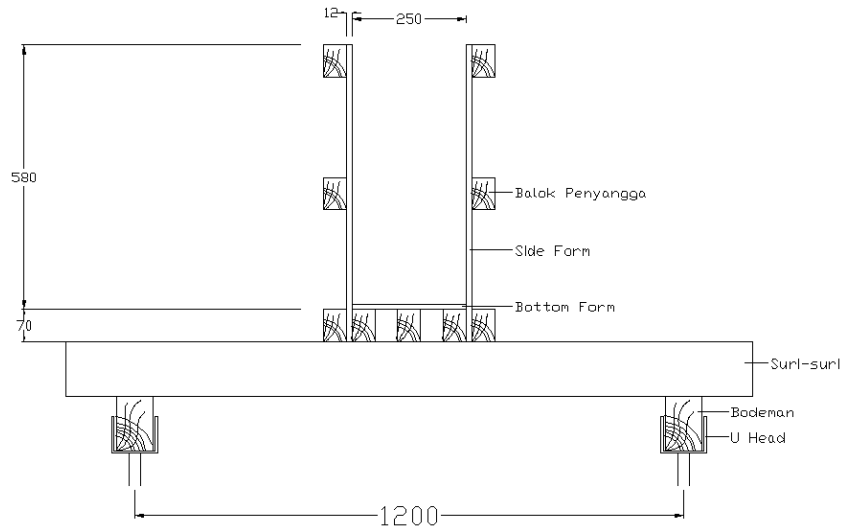
Gambar 6. Sketsa Bekisting Balok Induk

- Berat beton bertulang yang masih cair = $417,6 \text{ kg/m}$
- Berat bekisting (Side form multipleks + Bottom form multipleks + balok penyangga + suri-suri + bodeman) = $72,387 \text{ kg/m}$

Total beban mati merata pada balok anak 1: $417,6 \text{ kg/m} + 72,387 \text{ kg/m} = 489,987 \text{ kg/m}$

3. Balok Anak 1

Sketsa potongan bekisting pada pembebanan pelat lantai ditunjukkan pada Gambar 7.



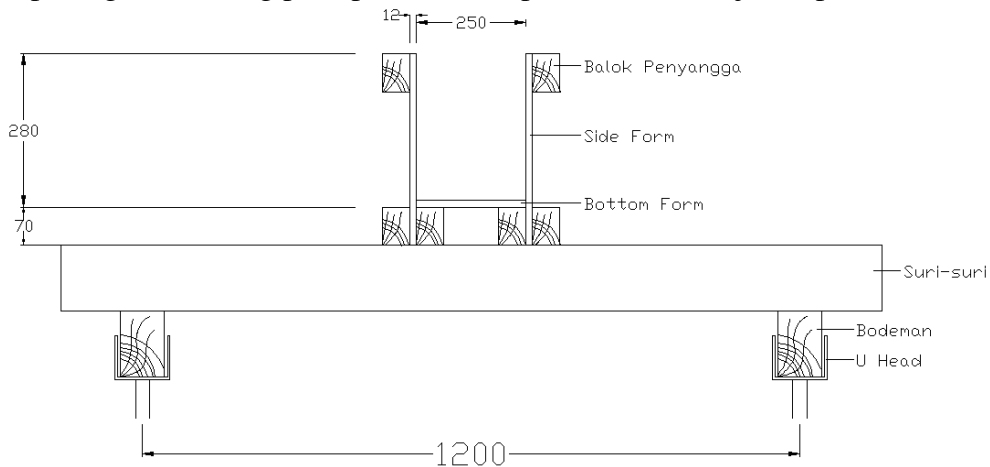
Gambar 7. Sketsa Bekisting Balok Anak 1

- Berat beton bertulang yang masih cair = 348 kg/m
- Berat bekisting (*Side form* multipleks + *Bottom form* multipleks + balok penyangga + suri-suri + bodeman) = 71,935 kg/m

Total beban mati merata pada balok anak 1: $348 \text{ kg/m} + 71,935 \text{ kg/m} = 419,935 \text{ kg/m}$

4. Balok Anak 2

Sketsa potongan bekisting pada pembebanan pelat lantai ditunjukkan pada Gambar 8.

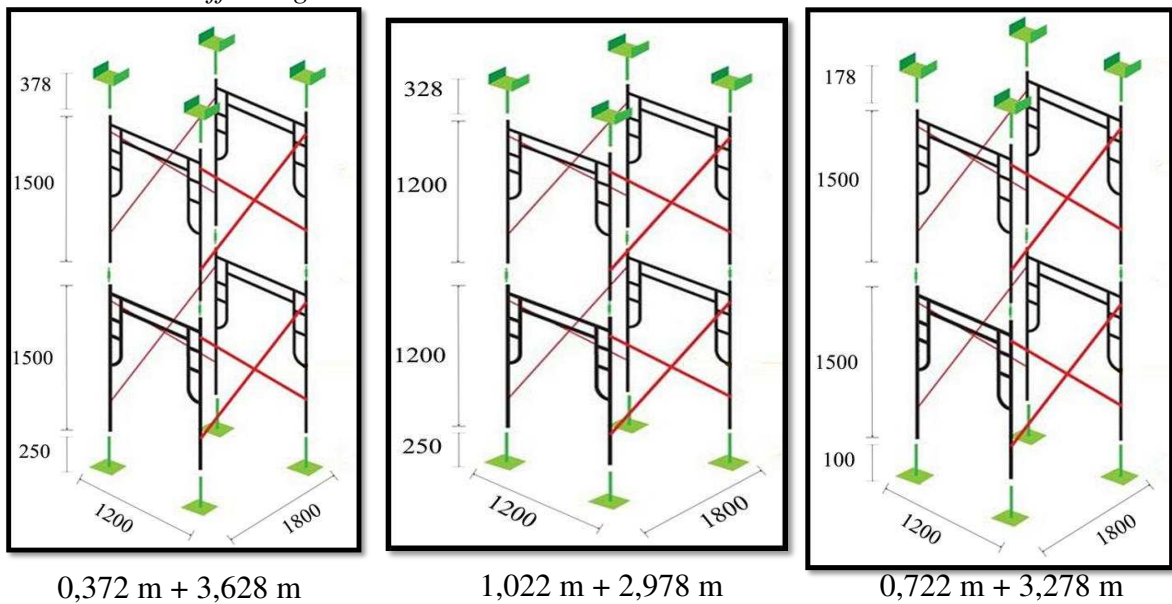


Gambar 8. Sketsa Bekisting Balok Anak 2

- Berat beton bertulang yang masih cair = 134,4 kg/m
- Berat bekisting (*Side form* multipleks + *Bottom form* multipleks + balok penyangga + suri-suri + bodeman) = 60,599 kg/m

Total beban mati merata pada balok anak 1: $134,4 \text{ kg/m} + 60,599 \text{ kg/m} = 194,999 \text{ kg/m}$

5. Ukuran *Scaffolding*



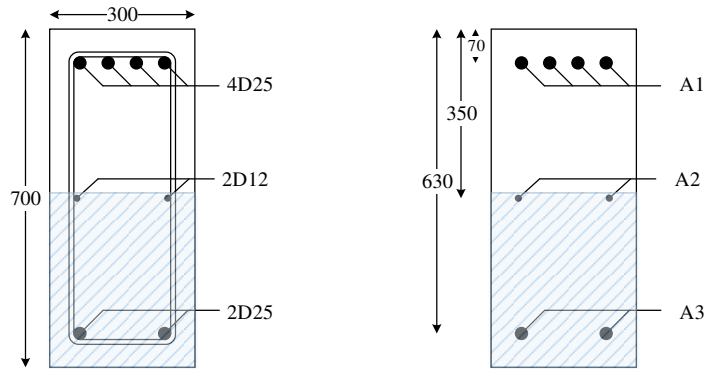
Gambar 9. Sketsa *Scaffolding* Pelat Lantai, Balok Induk, Balok Anak 1 dan Balok Anak 2

Pada Gambar 9 dijelaskan bahwa bagian pelat lantai, jarak antar lantai adalah 4000 mm yang terdiri dari tebal pelat lantai, rangkaian bekisting, dan *scaffolding set*. Tebal pelat lantai 120 mm, tebal multipleks 12 mm, suri-suri 120 mm, bodeman 120 mm, jika dijumlahkan 372 mm sehingga *scaffolding* diatur supaya ketinggiannya 3628 mm yang terdiri dari U base yang diatur ketinggiannya 378 mm, 2 set *scaffolding* dengan tinggi 1500 mm, dan jack base yang diatur ketinggiannya 250 mm.

Pada bagian Balok Induk dan Balok Anak 1, jarak antar lantai adalah 4000 mm yang terdiri dari tinggi balok, rangkaian bekisting, dan *scaffolding set*. Tinggi balok adalah 700 mm, tebal bottom form 12 mm, balok penyangga 70 mm, suri-suri 120 mm, bodeman 120 mm, jika dijumlahkan 1022 mm sehingga *scaffolding* diatur supaya ketinggiannya 2978 mm yang terdiri dari U base yang diatur ketinggiannya 328 mm, 2 set *scaffolding* dengan tinggi 1200 mm, dan jack base yang diatur ketinggiannya 250 mm.

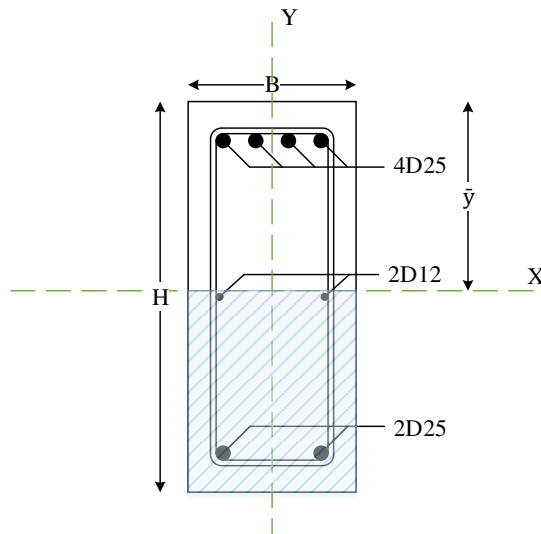
Pada bagian Balok Anak 2, jarak antar lantai adalah 4000 mm yang terdiri dari tinggi balok, rangkaian bekisting, dan *scaffolding set*. Tinggi balok adalah 400 mm, tebal bottom form 12 mm, balok penyangga 70 mm, suri-suri 120 mm, bodeman 120 mm, jika dijumlahkan 722mm sehingga *scaffolding* diatur supaya ketinggiannya 3278 mm yang terdiri dari U base yang diatur ketinggiannya 178 mm, 2 set *scaffolding* dengan tinggi 1500 mm, dan jack base yang diatur ketinggiannya 100 mm.

Perhitungan Momen Inersia Transformasi Balok Induk Zona Tumpuan



Gambar 10. Pembagian Luasan Daerah Tulangan

1. Menentukan luas daerah beton dan tulangan berdasarkan Gambar 10.
 Luas tulangan $= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$ (3)
 Luas beton = B x H (4)
2. Menentukan momen inersia awal
 Momen inersia beton:
 $I_x = \frac{1}{12} \cdot B \cdot H^3$ (5)
 Momen inersia tulangan:
 $I_x = I_y = \frac{\pi}{64} \cdot D^4$ (6)
3. Menentukan nilai n, yaitu nilai konversi baja ke beton
 $n = \frac{E_s}{E_c}$ (7)
4. Mencari luas transformasi baja ke beton
 $(n - 1) \cdot A_1$ (8)
 $(n - 1) \cdot A_2$ (9)
 $(n - 1) \cdot A_3$ (10)
 $(n - 1)$ Karena beton dianggap utuh tidak memperhitungkan lubang untuk tulangan.
5. Mencari garis netral yang dihitung dari titik berat penampang ke poros atas



Gambar 11. Sketsa Jarak \bar{y} Terhadap Poros Momen

6. Mencari momen inersia transformasi

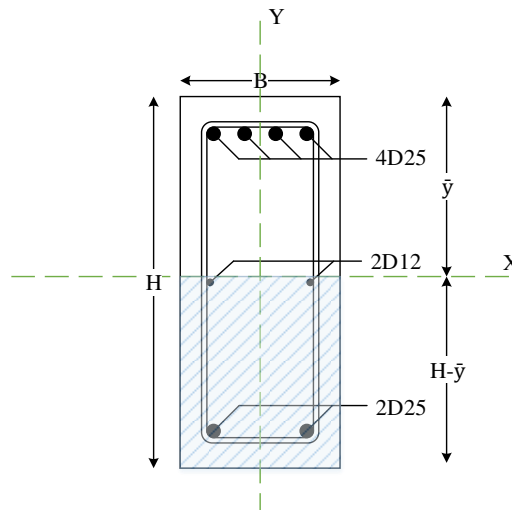
$$I_{tr} = \left(\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 + A \cdot (y - \bar{y})^2 \right) + \left(\frac{\pi}{64} \cdot D^4 + A_2 \cdot (y - \bar{y})^2 \right) + \left(\frac{\pi}{64} \cdot D^4 + A_2 \cdot (y - \bar{y})^2 \right) + \left(\frac{\pi}{64} \cdot D^4 + A_3 \cdot (y - \bar{y})^2 \right) \quad (11)$$

Tabel 1. Nilai Momen Inersia Transformasi Balok Induk Zona Tumpuan

Umur Beton	I _{tr} (cm ⁴)
7	1075862,231
14	1042303,394
21	1034583,416
28	1023569,552

**Perhitungan Regangan Pada Balok Induk Arah X Zona Tumpuan
Beton Umur 7 Hari**

1. Tegangan normal



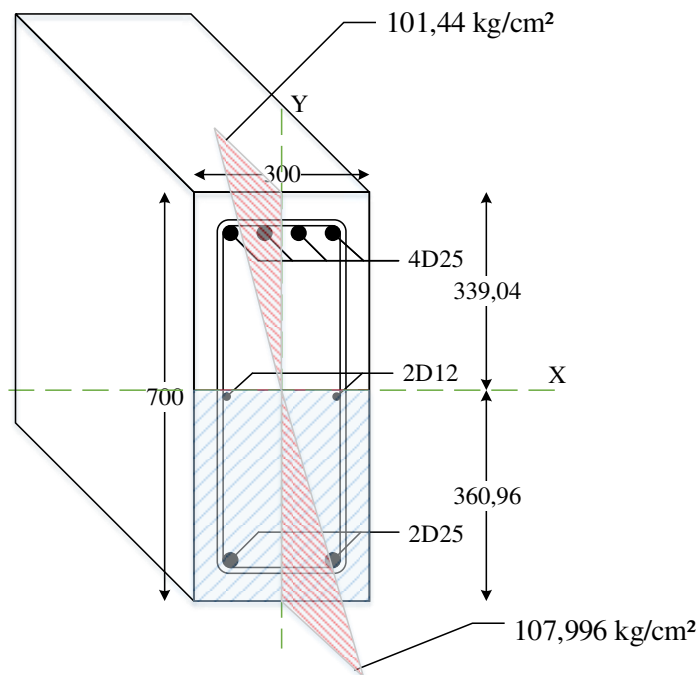
Gambar 12. Sketsa Jarak \bar{y} Balok Induk Zona Tumpuan

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} \quad (12)$$

$$\sigma_2 = \frac{M \cdot \bar{y}}{I_{tr}} \quad (13)$$

$$\sigma_3 = \frac{M \cdot (H - \bar{y})}{I_{tr}} \quad (14)$$

Karena pada contoh perhitungan meninjau balok zona tumpuan maka bagian balok yang tertarik yang bagian tepi atas. Sketsa diagram tegangan normal dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Diagram Tegangan Normal Balok Induk Arah X Zona Tumpuan

2. Tegangan geser

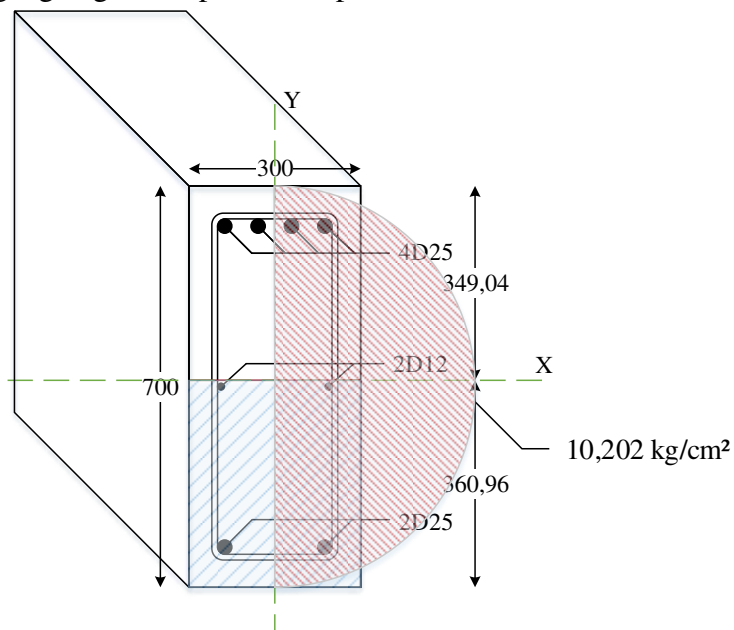
$$S_1 = S_3 = 0 \text{ cm}^3$$

$$\tau_1 = \tau_3 = 0 \text{ MPa}$$

$$S_2 = B \cdot \bar{y} \cdot 0,5\bar{y} + S_1 \tag{15}$$

$$\tau_2 = \frac{D \cdot S_2}{B \cdot I_{tr}} \tag{16}$$

Sketsa diagram tegangan geser dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Diagram Tegangan Geser Balok Induk Arah X Zona Tumpuan

3. Hubungan Tegangan Regangan

Besar regangan balok induk arah X zona tumpuan pada umur 7 hari :

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_c} \tag{17}$$

$$\sigma = 10,144 \text{ MPa}$$

$$E_c = 18908,375$$

$$\varepsilon = 0,00053648$$

Tabel 2. Regangan Balok Induk Arah X Zona Tumpuan Kondisi 1

	Umur beton (hari)			
	7	14	21	28
Tegangan Utama				
σ_1	0,000 MPa	0,000 MPa	0,000 MPa	0,000 MPa
σ_2	10,144 MPa	10,517 MPa	10,607 MPa	10,666 MPa
σ_3	10,800 MPa	11,101 MPa	11,172 MPa	11,219 MPa
S_2	17242,585 cm ³	17397,084 cm ³	17433,531 cm ³	17457,387 cm ³
τ_2	1,020 MPa	1,062 MPa	1,073 MPa	1,079 MPa
Arah-Arah Tegangan Utama				
Normal Maksimum				
σ_{max}	10,144 MPa	10,517 MPa	10,607 MPa	10,666 MPa
1/4 Tinggi Balok Tertarik				
σ_x	5,236 MPa	5,404 MPa	5,445 MPa	5,471 MPa
S	13206,040 cm ³	13285,607 cm ³	13304,326 cm ³	13316,568 cm ³
τ_{xy}	0,781 MPa	0,811 MPa	0,819 MPa	0,823 MPa
$\tan 2\theta$	0,298	0,300	0,301	0,301
2θ	16,618 °	16,712 °	16,735 °	16,749 °
θ	8,309 °	8,356 °	8,367 °	8,375 °
σ_{x1}	5,350 MPa	5,524 MPa	5,565 MPa	5,593 MPa
σ_{max}	5,350 MPa	5,524 MPa	5,565 MPa	5,593 MPa
σ_{min}	-0,114 MPa	-0,119 MPa	-0,120 MPa	-0,121 MPa
τ_{xymax}	2,732 MPa	2,821 MPa	2,843 MPa	2,857 MPa
Hubungan Tegangan Regangan				
f_c	16,185 MPa	21,912 MPa	23,655 MPa	24,900 MPa
E_c	18908,375 MPa	22000,820 MPa	22859,111 MPa	23452,953 MPa
σ_{max}	10,144 MPa	10,517 MPa	10,607 MPa	10,666 MPa
ε	0,00053648	0,00047805	0,00046402	0,00045478
ε terbesar	0,00053648	0,00053648	0,00053648	0,00053648

Dari nilai tegangan normal maksimum didapat nilai regangan tarik akibat momen. Nilai dari regangan tersebut ditinjau pada saat bekisting dilepas sampai dengan 28 hari, regangan beton pada umur 7,14,21, dan 28 hari bernilai 0,00053648; 0,00047805; 0,00046402; dan 0,00045478. Hasil tersebut menunjukkan bahwa regangan tarik di tepi semakin mengecil untuk umur beton yang bertambah.

Beton yang telah mengalami peregangan akibat tegangan yang terjadi tidak dapat kembali ke bentuk asalnya. Dalam kasus ini pada saat bekisting dilepas pada umur beton 7 hari, beton mengalami peregangan sebesar 0,00053648. Setelah satu minggu sampai 3 minggu setelah bongkar bekisting besar regangan pada balok semakin mengecil, maka dari itu nilai regangan yang dipakai adalah 0,00053648.

Menentukan Regangan Susut Kondisi Standar

Rumus f berdasarkan pada Persamaan (2).

Rumus $\varepsilon_{sh}(t,t_c)$ berdasarkan pada Persamaan (1)

Tabel 3. Nilai Regangan Akibat Susut Balok Induk Arah X Zona Tumpuan

Umur beton	Regangan akibat susut
7	0
14	0,000147306
21	0,000247812
28	0,000320764

Pada perhitungan regangan akibat susut, nilai regangan yang terjadi pada umur beton 7,14,21, dan 28 hari adalah 0; 0,00014731; 0,00024781; dan 0,00032076. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada saat pembongkaran bekisting beton pada umur 7 hari, beton belum mengalami regangan akibat susut namun setelah 1 minggu, 2 minggu, dan 3 minggu setelah bongkar perancah, beton mengalami regangan akibat susut dan hasil dari regangan susut tersebut semakin bertambah.

Kontrol Regangan Terhadap Crack

Batas Crack (*fib*, 2010) pada beton didapatkan dengan Persamaan (18).

$$\epsilon_0 = \frac{2f_c''}{E_c} \tag{18}$$

Tabel 4. Nilai Batas Crack

Umur (hari)	7	14	21	28
Rasio	0,65	0,88	0,95	1,00
f_c (MPa)	16,185	21,912	23,655	24,900
f_c'' (MPa)	14,567	19,721	21,290	22,410
E_c (MPa)	18908,375	22000,820	22859,111	23452,953
ϵ_0	0,00154075	0,00179273	0,00186267	0,00191106

Regangan tarik akibat momen dijumlahkan dengan regangan akibat susut yang menghasilkan regangan total, kemudian dibandingkan dengan batas *crack*. Dari hasil analisis, didapatkan bahwa regangan total dari balok induk, balok anak1, balok anak2, dan pelat yang ditinjau pada kondisi 1 maupun kondisi 2 dengan nilai terbesar adalah regangan total balok induk arah X zona tumpuan kondisi 1.

Tabel 5. Kontrol Regangan Balok Induk Arah X Zona Tumpuan Kondisi 1

Kontrol Regangan Terhadap Crack							
Umur Beton (hari)	Regangan Tarik Akibat Momen		Regangan Akibat Susut	=	Regangan Total	<	Batas Crack
7	0,00053648	+	0,00000000	=	0,00053648	<	0,00154075
14	0,00053648	+	0,00014731	=	0,00068379	<	0,00179273
21	0,00053648	+	0,00024781	=	0,00078429	<	0,00186267
28	0,00053648	+	0,00032076	=	0,00085725	<	0,00191106

Pada Tabel 5 menunjukkan bahwa regangan total bernilai lebih kecil dari batas *crack* pada tiap umur beton yang ditinjau maka dari itu dapat disimpulkan bahwa beton tidak mengalami keretakan yang disebabkan oleh faktor susut pada beton

KESIMPULAN

Analisis terhadap penampang balok dan pelat beton bertulang menggunakan 2 kondisi yang dijadikan model untuk meninjau keretakan beton akibat regangan susut yang tidak memperhitungkan pengaruh pengekan tulangan akibat bongkar perancah pada usia beton baru mencapai 7 hari menghasilkan kesimpulan seperti berikut:

1. Semakin tua umur beton pada saat bongkar perancah maka regangan tarik akibat momen pada balok merupakan fungsi terbalik terhadap usia pembongkaran bekisting dan nilai regangan susut semakin kecil pada saat beton mencapai kuat tekan yang ditinjau terhadap beton umur 28 hari. Pengaruh pengekan tulangan diabaikan pada perhitungan regangan susut.
2. Penjumlahan aljabar regangan tarik akibat momen dengan regangan akibat susut menghasilkan regangan total yang dibandingkan dengan batas *crack*. Dari hasil analisis tersebut didapatkan bahwa regangan total dari balok induk, balok anak 1, balok anak 2, dan pelat yang ditinjau pada kondisi 1 maupun kondisi 2 bernilai kurang dari batas *crack*, sehingga dapat disimpulkan bahwa beton tidak mengalami keretakan yang disebabkan oleh faktor susut pada beton.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 209, 2008, *Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete*, American Concrete Institute, Farmington Hills.
- International Federation for Structural Concrete (*fib*), 2010, *Fib Model Code for Concrete Structures 2010*, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin.
- Nawy E. G., 1997, *Concrete Construction Engineering Handbook* (2nd Ed.), CRC Press, Florida.
- Nawy E. G., Suryoatmono B., 2001, *Beton Prategang* (3rd Ed.), Erlangga, Jakarta.
- Park R., Paulay T., 1975, *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley & Sons, Inc, New York.