

kan pula sebagai perawatan sesudah beton dituang, yaitu dengan membasahi terus menerus atau dengan merendamnya.

Air yang digunakan dalam pembuatan dan perawatan beton harus memenuhi syarat-syarat yang ditetapkan, misalnya tingkat keasamannya (pH) tidak boleh melebihi 6, dan juga tidak boleh terlalu sedikit mengandung kapur.

2.1.4 Baja Tulangan

Sifat fisik baja tulangan yang paling penting digunakan dalam perhitungan perencanaan beton bertulang ialah tegangan luluh (f_y) dan modulus elastisitas (E_s). Tegangan luluh (titik luluh) baja ditentukan melalui prosedur pengujian standar dengan ketentuan bahwa tegangan luluh adalah tegangan baja pada saat mana meningkatnya regangan tidak disertai lagi dengan peningkatan tegangannya.^{4]} Di dalam perencanaan atau analisis beton bertulang umumnya nilai tegangan luluh baja tulangan diketahui atau ditentukan pada awal perhitungan.

Di samping usaha standarisasi yang telah dilakukan oleh masing-masing negara produsen baja kebanyakan produksi baja tulangan beton dewasa ini masih berorientasi pada spesifikasi teknik yang ditetapkan ASTM. Di Indonesia produksi baja tulangan dan baja struktur telah diatur sesuai dengan Standar Industri Indonesia.

Modulus elastisitas baja tulangan ditentukan berdasarkan kemiringan awal kurva tegangan-regangan didaerah elastik dimana analisa mutu baja yang satu dengan lainnya

sebesar 0,008 untuk setiap kelebihan 1 Mpa diatas 30 Mpa, tetapi β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65.

2.3 Perencanaan Balok Terlentur Bertulangan Tarik

Dalam perencanaan balok penampang persegi terlentur, selain untuk f_y dan f'_c tertentu yang harus ditetapkan lebih lanjut adalah dimensi lebar balok, tinggi balok dan luas penampang tulangan. Perlu diketahui bahwa tiga besaran perencanaan tersebut didapatkan banyak sekali kemungkinan kombinasi antar ketiganya yang dapat memenuhi kebutuhan kapasitas momen (M_R) untuk penggunaan tertentu. Secara teoritis dapat dikatakan bahwa balok lebar tetapi pendek kemungkinan mempunyai M_R yang sama dengan balok sempit tetapi tinggi. Untuk menentukan nilai-nilai tersebut dipengaruhi oleh batas-batas ketentuan peraturan disamping juga pertimbangan teknis pelaksanaannya.

Perhitungan benda uji sebagai berikut.

Balok persegi dengan $b = 150$ mm, $d = 210$ mm, $L = 1000$ mm. Dari hasil kuat tarik baja tulangan didapat tegangan luluh rata-rata = $3248,17$ kg/cm² (dikonversikan menjadi $f_y = 324,8$ MPa), mutu beton K₁₇₅ (dikonversikan $f'_c = 175 \cdot 0,83/10 = 14,525$ MPa. Digunakan Tulangan sebelah 2 $\phi 16$ ($A_s = 401,92$ mm²).

Penyelesaian:

anggapan bahwa tulangan baja telah mencapai regangan luluh.

hanya dapat memikul tekan yang terjadi. Aksi komposit dari kedua material tersebut hanya dapat berjalan dengan baik apabila bisa dicegah terjadinya slip antara beton dan tulangan. Hal ini bisa dicapai dengan memakai tulangan ulir yang mempunyai daya lekat yang tinggi pada permukaan tulangan beton, dan apabila diperlukan dengan mengangkur ujung-ujung tulangan secara khusus.

Apabila pembebanan pada balok tersebut ditambah secara berangsur-angsur mulai dari nol sampai mencapai suatu harga yang dapat menyebabkan hancurnya balok, maka bisa dibedakan dengan jelas adanya beberapa tingkat perilaku yang berbeda.

Pada pembebanan yang kecil, selama tegangan tarik maksimum beton lebih kecil dari modulus kehancuran, maka seluruh beton dapat dikatakan efektif dalam memikul tegangan, tekan pada satu sisi dan tarik pada sisi yang lain. Tulangan juga mengalami deformasi yang sama seperti beton dan mengalami tegangan tarik.

Apabila beban ditambah terus, maka kekuatan tarik beton akan segera tercapai, dan pada tingkatan ini mulai tercapai retak-retak akibat tarik. Retak-retak ini menjangkar dengan cepat ke atas dan bergeser diikuti dengan menjalarnya retak-retak. Retak-retak ini, cukup banyak mempengaruhi perilaku balok yang mengalami pembebanan. Sesungguhnya, pada suatu penampang retak, yaitu suatu penampang yang terletak pada tempat terjadinya retak, beton tidak menyalurkan tegangan-tegangan tarik. Dengan

demikian, seperti juga pada batang-batang tarik maka tulanganlah yang harus memikul semua tarik yang terjadi.

Apabila dipakai jumlah tulangan yang relatif sedikit pada suatu besar pembebanan tertentu, tulangan akan mencapai tegangan lelehnya. Pada besar tegangan tersebut tulangan akan meleleh secara tiba-tiba dan akan mengalami deformasi yang besar, dan retak-retak akibat tarik pada beton akan melebar sehingga menjalar ke atas, diikuti secara serentak dengan terjadinya lentur yang besar pada balok. Apabila ini terjadi, regangan pada daerah tekan akan bertambah sedemikian rupa sehingga dapat menghancurkan beton, kehancuran tekanan sekunder terjadi pada besar pembebanan yang sedikit lebih besar dari beban yang menyebabkan tulangan meleleh. Dengan demikian, secara efektif tercapainya tegangan leleh pada tulangan menentukan daya pikul dari balok dengan jumlah tulangan tertentu. Kehancuran leleh berlangsung secara berangsur-angsur dan didahului dengan tanda-tanda yang cukup jelas, seperti melebar dan memanjangnya retak, dan tanda-tanda yang menunjukkan bertambah besarnya lendutan yang terjadi.

Sebaliknya apabila dipakai jumlah tulangan yang banyak atau jumlah tulangan yang normal dari tulangan yang mempunyai kekuatan tinggi, maka kekuatan tekanan beton akan dicapai sebelum tulangan mulai meleleh. Beton akan mengalami kegagalan dengan terjadinya kehancuran apabila regangan yang terjadi menjadi sangat besar sehingga dapat merusak keutuhan beton.

c. untuk batang tulangan baja D55

$$l_{db} = \frac{40f_y}{\sqrt{f'_c}} \dots \dots \dots (2.3)$$

d. untuk batang kawat deformasion

$$l_{db} = (3/8).db.f_y\sqrt{f'_c} \dots \dots \dots (2.4)$$

2. Faktor modifikasi

Keterangan	faktor pengali
a. Batang tulangan paling atas	1,4
b. Batang tulangan baja dengan $f_y > 400$ Mpa.	$2 - 400/f_y$
c. Untuk beton ringan apabila kuat tarik belah rata-rata $f'_{ct} \leq 1,0$.	$\sqrt{f'_c}/1,8\sqrt{f'_{ct}}$
d. Untuk beton ringan apabila kuat tarik belah rata-rata tidak ditentukan:	
- untuk beton ringan sepenuhnya	1,33
- untuk beton ringan pasir	1,18
e. Penulangan mendatar dengan spasi p.k.p 150 mm dan paling tidak berjarak bersih antar batang 70 mm	$\frac{0,88}{A_s \text{perlu}}$
f. Penulangan tersedia lebih banyak	$\frac{A_s \text{tersedia}}{A_s \text{perlu}}$
g. Batang baja tulangan yang terkungkung dalam lilitan penulangan spiral deangan diameter tidak kurang dari 5 mm dan	0,75

jarak spasi lilitan spiral tidak lebih dari 100 mm

Untuk menentukan panjang sambungan lewatan tarik pada struktur balok dapat dilihat pada tabel 2.2 seperti berikut ini.

Tabel 2.2. Panjang sambungan lewatan tarik [2]

$\frac{A_s \text{ ada}}{A_s \text{ perlu}}$	persentasi maksimum dari A_s yang disambung lewat didalam panjang lewatan perlu		
	50	75	100
≥ 2	kelas A	kelas A	kelas B
< 2	kelas B	kelas C	kelas C

Agar lebih jelas dalam membaca tabel 2.2 diatas, maka dapat diuraikan sebagai berikut. [6]

1. Untuk tegangan yang selalu lebih kecil dari $f_y/2$:
 - kelas A apabila tidak lebih dari 75 % batang-batang yang disambung didalam satu panjang lewatan,
 - kelas B apabila lebih dari 75 % disambung didalam panjang lewatan.
2. Untuk tegangan yang melebihi dari $f_y/2$:
 - kelas B apabila tidak lebih dari 50 % batang disambung didalam panjang lewatan,
 - kelas C apabila lebih dari 50 % disambung didalam satu panjang lewatan.

Perhitungan panjang sambungan lewatan untuk benda uji adalah sebagai berikut:

$$l_{db} = \frac{0,02 \cdot A_b \cdot f_y}{\sqrt{f'_c}} \text{ (dari rumus 2.1)}$$

diketahui $A_b = 1/4 \cdot 3,14 \cdot 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2$

$f_y = 324,8 \text{ Mpa}$, $f'_c = 14,525 \text{ Mpa}$

$$l_{db} = \frac{0,02 \cdot 200,96 \cdot 324,8}{\sqrt{14,525}} = 342,53 \text{ mm}$$

faktor modifikasi = 1, maka $l_d = 342,5 \cdot 1 = 342,5 \text{ mm}$.

sambungan termasuk kelas C, panjang sambungan lewatan

$$= 1,7 \cdot 342,53 = 582,30 \text{ mm}$$

$$= 58,30 \text{ cm} \approx 60 \text{ cm}$$

2.6 Rawatan Beton

Untuk memperoleh hasil pengujian yang diharapkan, maka setelah beton dikeluarkan dari cetakan harus segera dilakukan rawatan dengan menggunakan salah satu metode berikut ini. [3]

- a. Beton dibasahi terus menerus dengan air.
- b. Beton direndam di dalam air lingkungan sekitar $23 - 17^\circ$ celcius, sehari sebelum pengujian, beton tersebut diangkat dari dalam air dan ditiriskan.
- c. Beton dilindungi dengan karung basah, film plastik, atau kertas perawatan tahan air.

2.7 Pengujian Kuat Desak Beton

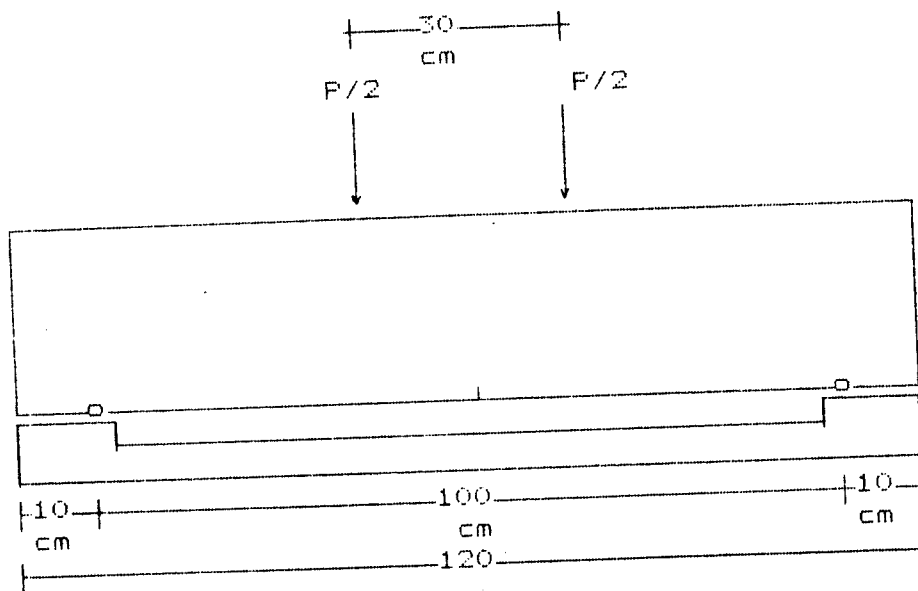
Kuat desak dipengaruhi oleh kuat ikat pasta semen, homogenitas campuran, perbandingan campuran, dan kemampuan.

Y = jarak serat terluar terhadap garis netral, baik di daerah tekan maupun tarik

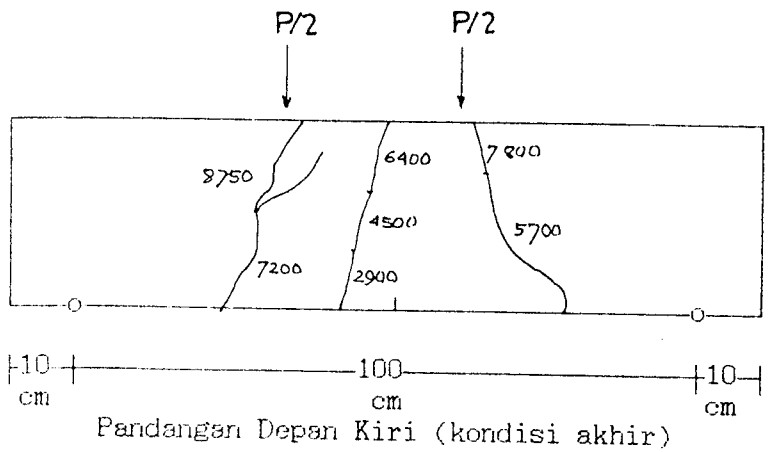
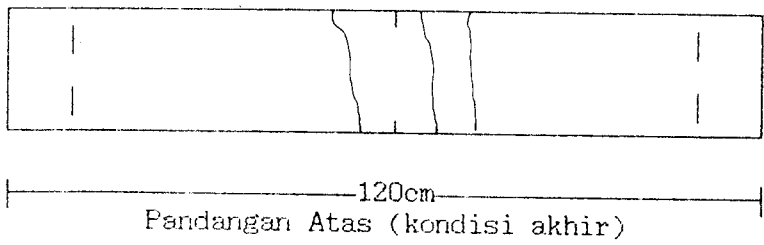
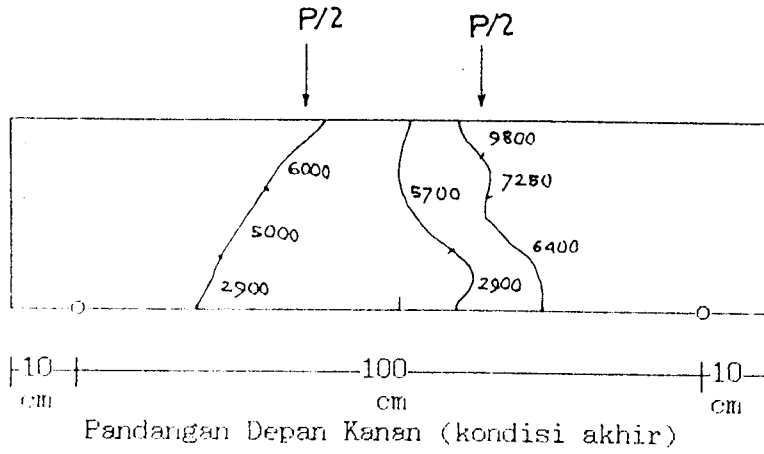
I = momen inersia penampang balok terhadap garis netral

Benda uji yang digunakan pada percobaan ini adalah balok persegi dengan panjang 120 cm dan diuji pada umur 28 hari.

3. Hasil retakan ditulis pada saat beban retak. Lendutan dicatat dengan menggunakan interval 500 kg sampai kekuatan maksimal. Kemudian hasil pengujian dicatat beban maksimalnya sesuai dengan jarum penunjuk pembebanan pada mesin uji tersebut.



Gambar 3.1. Perletakan Benda Uji



Gambar 4.4. Sket Hasil Pengujian Kuat Lentur Sampel B1

Tabel 4.3. Data hasil pengujian lentur sampel C (Panjang baja tulangan sambungan lewatan 50 cm)

No.	SAMPSEL C1			SAMPSEL C2			SAMPSEL C3		
	Beban (F) (Kg)	δ 10^{-2} mm	δr	Beban (F) (Kg)	δ 10^{-2} mm	δr	Beban (F) (Kg)	δ 10^{-2} mm	δr
01	500	55		500	72		500	59	
02	1000	100		1000	98		1000	78	
03	1500	125		1500	135		1500	105	
04	2000	146	1	2000	162		2000	134	
05	2500	175	2	2500	194	1	2500	168	
06	3000	209	3	3000	233		2600	-	1
07	3500	251	4	3500	267		2900	-	2
08	4000	304		4000	312		3000	204	
09	4500	345	5	4500	352	2	3500	245	3
10	5000	386	6	4900	-	3	4000	275	
11	5400	-	7	5000	421	4	4500	314	
12	5500	430		5250	-	5	5000	355	
13	6000	490		5500	455	6	5200	-	4
14	6300	-	8	6000	522		5500	388	5
15	6500	530		6500	538		6000	440	6
16	7000	588		7000	593		6500	479	7
17	7500	642		7500	632		6750	-	8
18	8000	698		8000	689	7	7000	529	
19	8500	753	*	8500	735		7500	595	
20				9000	779		7900	-	9
21				9250	812	*	8000	679	
22							8250	705	*

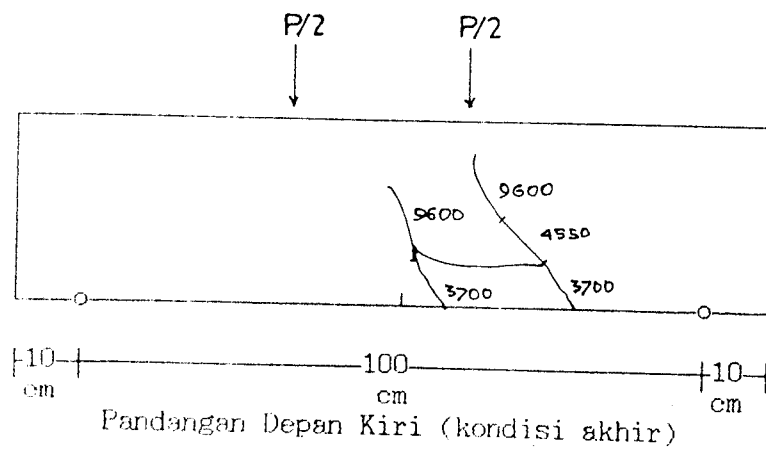
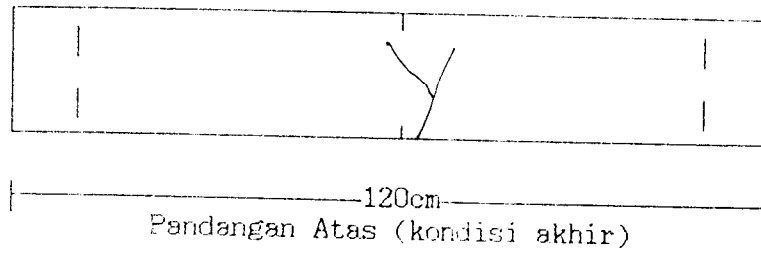
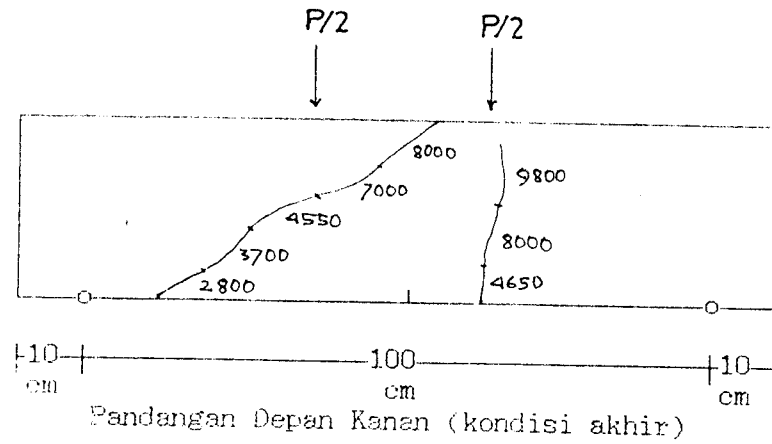
δr = lendutan pada beban yang mengakibatkan retak

* = benda uji patah

- = lendutan tidak terbaca

Dari hasil pengujian lentur ke tiga sampel, didapatkan beban rata-rata yang dapat didukung oleh balok sebagai berikut ini.

$$P \text{ max. rata-rata} = \frac{8500 + 9250 + 8250}{3} = 8666,67 \text{ kg}$$



Gambar 4.12. Sket Hasil Pengujian Kuat Lentur Sampel D3

Tabel 4.5. Data hasil pengujian lentur sampel E (Panjang basis tulangan sambungan lewatan 35 cm)

No.	SAMPSEL E1			SAMPSEL E2			SAMPSEL E3		
	Beban (F) (Kg)	δ 10^{-2} mm	δ_r	Beban (F) (Kg)	δ 10^{-2} mm	δ_r	Beban (F) (Kg)	δ 10^{-2} mm	δ_r
01	500	61		500	63		500	65	
02	1000	86		1000	92		1000	88	
03	1500	122		1500	140		1500	112	
04	2000	150		2000	167		2000	139	
05	2100	-	1	2500	225		2500	167	
06	2500	179		3000	263	1	2700	-	1
07	3000	219	2	3500	295		3000	200	
08	3500	247	3	4000	339		3500	230	
09	4000	278		4400	-	2	4000	260	
10	4500	351	4	4500	389		4250	-	2
11	4750	-	5	5000	415	3	4400	-	3
12	5000	421		5100	-	4	4500	303	
13	5250	473	*	5400	-	5	5000	341	
14				5500	470		5500	382	4
15				6000	541	6	5600	410	
16				6250	610	*		-	*

Keterangan : δ_r = lendutan pada beban yang mengakibatkan retak

* = benda uji patah

- = lendutan tidak terbaca

Dari hasil pengujian lentur ke tiga sampel, didapatkan beban rata-rata yang dapat didukung oleh balok sebagai berikut ini.

$$P_{\text{max. rata-rata}} = \frac{5250 + 5250 + 5600}{3} = 5700 \text{ kg}$$

Untuk lebih memperjelas kemampuan balok dalam mendukung beban pada masing-masing sampel dapat dilihat pada gambar-gambar sket pola retak/patah hasil pengujian lentur berikut ini.

Dari hasil pengujian lentur ketiga sampel tipe E (sampel dengan panjang sambungan lewatan 35 cm) sebagaimana terlihat pada tabel 4.5 dapat dibuat grafik perbandingan kenaikan beban terhadap lendutan sebagai berikut ini.