

PERBANDINGAN PENINGKATAN KUAT TEKAN DENGAN KUAT LENTUR PADA BERBAGAI UMUR BETON

Arusmalem Ginting

Dosen Tetap Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Janabadra

Jl. Tentara Rakyat Mataram No. 55-57, Yogyakarta

E-mail : agintingm@yahoo.com

ABSTRAK

Beton membutuhkan bekisting (acuan) yang baik untuk mendapatkan bentuk sesuai dengan rencana setelah beton mengeras. Bekisting balok dan pelat lantai didukung oleh *scaffolding* (perancah). Keruntuhan struktur beton dapat terjadi karena pembongkaran *scaffolding* yang terlalu dini. Kuat tekan beton pada umur tertentu merupakan salah satu acuan boleh tidaknya *scaffolding* dibuka. Beban yang bekerja pada balok dan pelat lantai adalah beban lentur yang didukung oleh komposit beton dengan baja tulangan sehingga perilakunya berbeda dengan pengujian kuat tekan silinder beton di laboratorium. Untuk itu maka perlu diadakan penelitian mengenai perbandingan peningkatan kuat tekan dengan kuat lentur pada berbagai umur beton. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini berupa silinder beton dan balok beton bertulang. Dimensi benda uji balok yang digunakan pada penelitian ini adalah 140 x 200 x 1200 mm. Pada bagian bawah balok dipasang 2 buah tulangan ulir berdiameter 10 mm. Pengujian kuat tekan silinder dan kuat lentur balok beton bertulang dilakukan pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Jumlah benda uji silinder beton sebanyak 3 buah dan jumlah benda uji balok beton bertulang sebanyak 2 buah untuk setiap variasi umur. Pengujian balok dilakukan dengan dua buah beban titik yang berjarak 1/3 panjang bentang dari masing-masing tumpuan. Panjang bentang pada pengujian balok ini sebesar 900 mm. Selain pengujian silinder dan balok juga dilakukan pengujian pendahuluan seperti pengujian tarik baja. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kuat tekan beton mengalami peningkatan dengan bertambahnya umur beton, dan peningkatan yang cukup besar sampai umur 14 hari. Kuat tekan beton pada umur 3, 14, dan 21 hari lebih kecil dari perkiraan kuat tekan beton berdasarkan PBI 1971, sedangkan pada umur 7 hari lebih besar. Kuat lentur balok mengalami peningkatan yang cukup besar sampai umur 7 hari, sedangkan setelah umur 7 hari kuat lenturnya tidak jauh berbeda, hal ini diakibatkan kuat tekan beton mulai dari umur 7 hari sudah cukup untuk mengimbangi tulangan untuk mencapai kondisi luluh. Pembongkaran *scaffolding* dapat dilakukan lebih cepat pada balok dengan tulangan terpasang jauh lebih kecil dari kondisi seimbang (*balanced*).

Kata kunci : kuat tekan, kuat lentur, umur beton.

ABSTRACT

A good formwork is required to obtain hard concrete form in accordance with the design. Formwork beams and slab floors are supported by scaffolding. Collapse of concrete structures can occur because of the premature dismantling of scaffolding. Compressive strength of concrete at a certain age is one of the references when scaffolding can be dismantled. A load on a beam and a slab floor is a bending loads supported by a composite of concrete with steel reinforcement so that their behavior are different from the concrete cylinder compressive strength testing in the laboratory. Based on the above description it need held a research on the comparison of increasing of concrete compressive strength to concrete flexural strength in various ages. In this study, cylindrical concrete and reinforced concrete beams were used as samples. The dimension of the beams used in this study is 140 mm x 200 mm x 1200 mm. At the bottom of the beam, two pieces of 10 mm diameter deformed steel reinforcement were installed. Compressive strength testing of cylindrical concrete and flexural strength testing of reinforced concrete beams were carried out at the age of 3, 7, 14, 21, and 28 days. There were three samples of cylindrical concrete and two samples of reinforced concrete beams for each variation of age. The beam testing was done with two points of loads. The distance of two loads was 1/3 of span length of support. In this beam testing, the length of span was 900 mm. In this research, it was also carried

out preliminary testing such as tensile testing of steel. From this research can be concluded that increasing of concrete compressive strength is equivalent to increasing age of concrete and substantial increasing occurs until 14 days age. Compressive strength of concrete at the age of 3, 14, and 21 days is less than the estimated strength of concrete by PBI 1971, while compressive strength of concrete at the age of 7 days is not. Bending strength of the beam significantly increases until the age of 7 days, whereas it is almost the same after the age of 7 days. This is due to that the compressive strength of concrete from the age of 7 days was sufficient to balance the reinforcement to achieve the yield condition. Dismantling of scaffolding can be done more quickly on the beam with reinforcement attached much smaller than the balanced reinforcement.

Keywords: *compressive strength, flexural strength, age of concrete.*

1. PENDAHULUAN

Beton banyak digunakan sebagai bahan bangunan karena harganya relatif murah, kuat tekannya tinggi, dapat dibuat sesuai dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan, dapat dikombinasikan dengan baja tulangan, dan masih banyak lagi kelebihan-kelebihan yang lain. Beton membutuhkan bekisting (acuan) yang baik untuk mendapatkan bentuk sesuai dengan rencana setelah beton mengeras. Bekisting balok dan pelat lantai didukung oleh *scaffolding* (perancah). Pada berbagai kasus pernah terjadi keruntuhan struktur beton karena pembongkaran *scaffolding* yang terlalu dini. Hal ini terjadi karena beton belum mampu mendukung beban yang bekerja.

Kuat tekan beton pada umur tertentu merupakan salah satu acuan boleh tidaknya *scaffolding* dibuka. Kuat tekan beton bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton. Pada beberapa Peraturan Beton Bertulang terdapat perkiraan kuat tekan beton pada berbagai umur, dan dianggap mencapai kekuatan 100% pada umur 28 hari.

Pada balok dan pelat lantai beban yang bekerja adalah beban lentur yang didukung oleh komposit beton dengan baja tulangan. Perilaku balok dan pelat lantai berbeda dengan pengujian kuat tekan silinder beton di laboratorium.

Referensi mengenai kuat lentur beton bertulang berdasarkan umur beton masih sangat kurang sehingga perlu diadakan penelitian mengenai prosentase kuat lentur balok beton bertulang pada berbagai umur terhadap kuat lentur balok beton pada umur 28 hari.

2. TINJAUAN LITERATUR

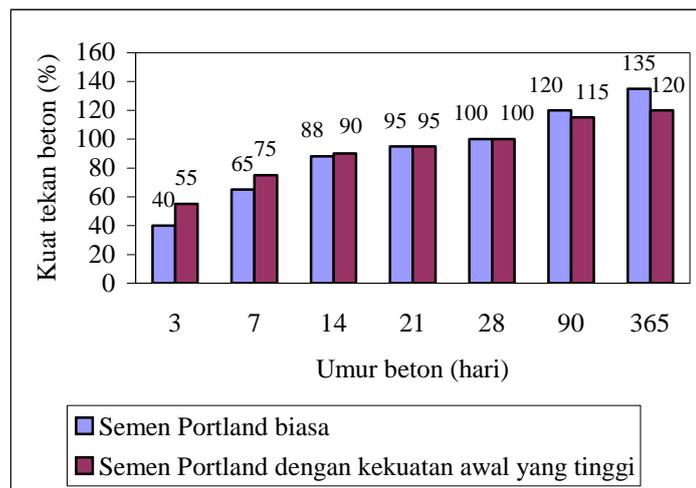
Berdasarkan SNI 03-1974-1990, kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan.

Menurut Tjokrodimuljo (1996), faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton adalah:

- a. faktor air semen dan kepadatan,
- b. umur beton,
- c. jenis semen,
- d. jumlah semen,
- e. sifat agregat.

Kuat tekan beton bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton tersebut sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain: faktor air semen dan suhu perawatan. Semakin tinggi faktor air semen semakin lambat kenaikan kekuatan betonnya, dan semakin tinggi suhu perawatan semakin cepat kenaikan kekuatan betonnya. Jenis semen yang digunakan berpengaruh terhadap laju peningkatan kuat tekan beton. Peningkatan kuat tekan beton yang menggunakan PPC relatif lebih lambat di umur awal bila dibandingkan dengan yang menggunakan PC tipe I. Sampai dengan umur 7 hari beton yang menggunakan PPC menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah sekitar 15% dibandingkan dengan yang menggunakan PC tipe I. Dengan bertambahnya umur hidrasi, terutama setelah melampaui umur hidrasi 20 hari, beton yang menggunakan PPC mampu menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang menggunakan PC tipe I. Pada umur 28 dan 90 hari, beton yang menggunakan PPC bahkan mampu lebih tinggi sebesar berturut-turut 10 % dan 8% bila dibandingkan dengan yang menggunakan PC tipe I (Salain, 2007).

Berdasarkan Peraturan Beton Bertulang (PBI 1971) kuat tekan beton berdasarkan umur seperti pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Kuat tekan beton berdasarkan umur.

Siswadi dkk (2007) melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan serbuk kayu sisa penggergajian terhadap kuat desak beton. Dari hasil penelitian didapat

kuat tekan beton normal dengan perbandingan campuran 369,8 kg semen : 1189,695 kg kerikil : 640,605 kg pasir : 184,9 kg air sebesar 17,106 MPa pada umur 7 hari, 22,217 MPa pada umur 14 hari, dan 26,293 MPa pada umur 28 hari. Dari hasil ini didapat kuat tekan beton pada umur 7 hari 65,06%, dan kuat tekan beton pada umur 14 hari 84,50% dari kuat tekan beton pada umur 28 hari.

Menurut Dipohusodo (1994), penulangan balok beton bertulang dapat berupa bertulangan seimbang, kurang, dan lebih. Penampang balok beton bertulangan seimbang (*balanced*) dapat terjadi apabila regangan luluh pada baja tarik dan regangan tekan beton maksimum terjadi secara bersamaan. Penampang balok beton bertulang dengan jumlah tulangan baja tariknya lebih banyak dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan disebut balok bertulangan lebih (*over reinforced*). Pada balok bertulangan lebih beton terlebih dahulu mencapai regangan maksimum sebelum tulangan tariknya luluh sehingga beton hancur secara mendadak tanpa diawali dengan gejala-gejala peringatan terlebih dahulu. Penampang balok bertulangan kurang (*under reinforced*) terjadi pada penampang balok beton bertulang dengan jumlah tulangan baja tariknya kurang dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan. Pada penampang balok bertulangan kurang, tulangan baja tarik akan mendahului mencapai regangan luluhnya (tegangan luluhnya) sebelum beton mencapai regangan maksimum. Rasio penulangan (ρ) atau sering disebut rasio baja merupakan perbandingan luas tulangan baja tarik (A_s) terhadap luas efektif penampang yaitu hasil kali lebar balok (b) dengan tinggi efektif balok (d). Rasio penulangan seimbang (ρ_b) dapat dihitung dengan Persamaan 1 berikut ini.

$$\rho_b = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \quad (1)$$

dengan:

ρ_b = rasio penulangan seimbang

f_c' = kuat tekan beton (MPa)

f_y = kuat tarik leleh tulangan (MPa)

$\beta_1 = 0,85$ (untuk $f_c' \leq 30$ MPa)

$= 0,85 - 0,008 \cdot (f_c' - 30) \geq 0,65$ (untuk $f_c' > 30$ MPa)

Luas tulangan seimbang dapat dihitung dengan Persamaan 2 berikut ini.

$$A_{s,b} = \rho_b \cdot b \cdot d \quad (2)$$

dengan:

$A_{s,b}$ = luas tulangan seimbang (mm^2)

- b = lebar balok (mm)
d = tinggi efektif balok (mm)

Kuat lentur suatu balok tersedia karena adanya mekanisme tegangan-regangan dalam yang timbul di dalam balok yang pada keadaan tertentu dapat diwakili oleh gaya-gaya dalam. Kuat lentur balok beton bertulang dapat dihitung dengan Persamaan 3 atau 4 berikut ini.

$$M_n = a. b. 0,85. f'_c. (d - \frac{1}{2}. a) \quad (3)$$

$$M_n = A_s. f_y. (d - \frac{1}{2}. a) \quad (4)$$

Dengan:

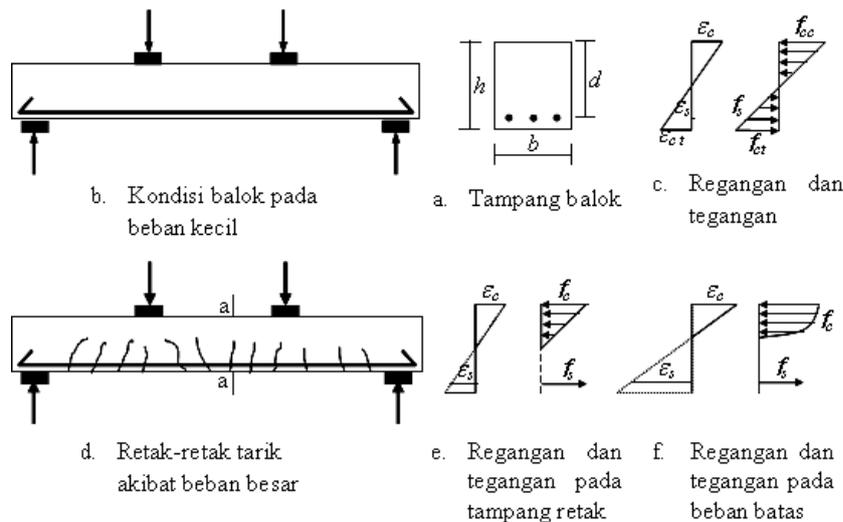
- M_n = momen nominal (Nmm)
a = tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (mm)
b = lebar balok (mm)
 f'_c = kuat tekan beton (MPa)
d = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm).
 A_s = luas tulangan (mm^2)
 f_y = kuat tarik leleh tulangan (MPa)

Menurut Winter dan Nilson (1993), balok beton bertulang dengan tampang segi empat apabila diberi beban yang ditambah berangsur-angsur mulai dari nol sampai balok hancur, maka ada tingkat perilaku yang berbeda. Pada beban kecil tegangan tarik maksimum beton lebih kecil dari modulus hancur, sehingga beton efektif mendukung tegangan tekan pada satu sisi dan tarik pada sisi yang lain. Tulangan juga mengalami tegangan tarik sama seperti beton. Pada kondisi ini tegangan yang terjadi pada beton kecil dan berbanding lurus dengan regangan yang terjadi.

Distribusi tegangan dan regangan pada beton dan tulangan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.c. Penambahan beban mengakibatkan kuat tarik beton terlampaui dan mulai terjadi retak-retak akibat tarik. Retak-retak menjalar cepat ke atas sampai mendekati garis netral yang mengakibatkan letak garis netral bergeser ke atas diikuti dengan menjalarnya retak-retak. Bentuk umum dan distribusi retak tarik ini diperlihatkan pada Gambar 2.d. Retak-retak sangat mempengaruhi perilaku balok dalam mendukung beban. Pada tampang yang retak seperti tampang a-a pada Gambar 2.d, beton tidak lagi menyalurkan tegangan tarik sehingga tulangan harus menahan semua tegangan tarik yang terjadi. Tegangan dan regangan berbanding lurus sampai tegangan beton kurang lebih

sebesar $0.5f_c'$. Distribusi tegangan dan regangan pada atau didekat tampang retak seperti ditunjukkan pada Gambar 2.e.

Tegangan dan regangan akan naik dan hubungan antara keduanya tidak lagi berbanding lurus apabila beban masih terus ditambah. Distribusi tegangan beton pada daerah tekan mempunyai bentuk yang sama seperti grafik tegangan-regangan beton. Gambar 2.f menunjukkan distribusi tegangan dan regangan pada saat beban mendekati beban batas.



Gambar 2. Perilaku balok beton bertulang karena pembebanan yang bertambah besar secara berangsur-angsur (Winter dan Nilson,1993).

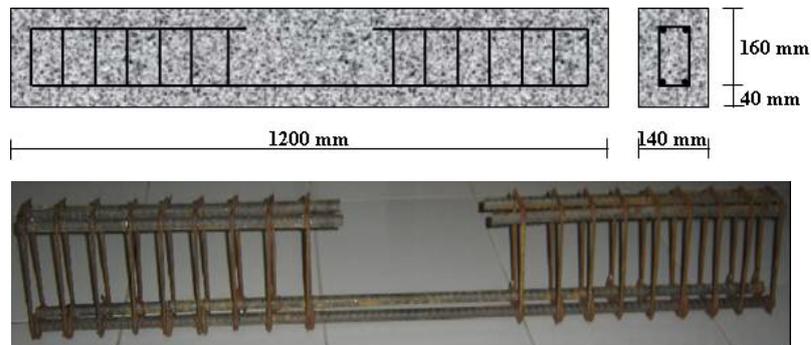
Menurut Yusriadi (2008), perancah (*scaffolding*) adalah suatu struktur (kerangka) sebagai sarana kerja bagi pekerja untuk melakukan tugas pada ketinggian tertentu dan penyangga acuan beton yang berfungsi mencegah terjadinya perubahan posisi acuan dari posisi yang telah ditentukan.

Berdasarkan SNI-03-2847-2002, penopang dapat dibongkar apabila struktur sudah memiliki kekuatan yang memadai untuk menopang berat sendirinya dan beban yang ditumpukan kepadanya. Kekuatan beton didasarkan pada pengujian silinder beton yang dirawat di lokasi konstruksi.

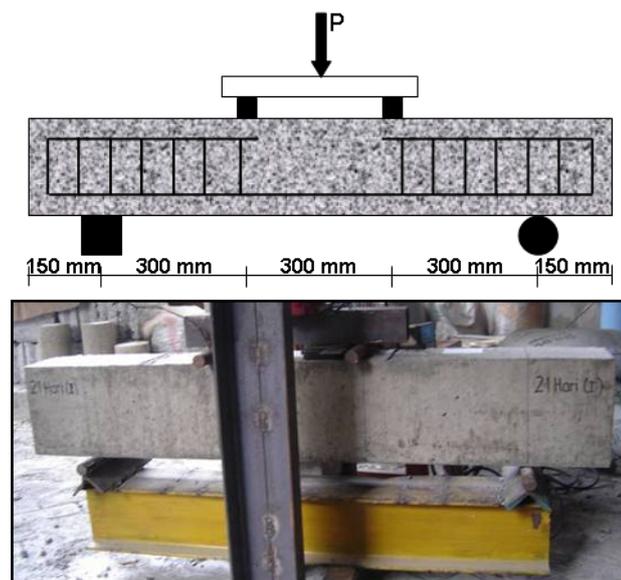
Berdasarkan PBI 1971, cetakan dan acuan dapat dibongkar setelah beton berumur 3 minggu. Jika ada jaminan bahwa setelah cetakan dan acuan dibongkar, beban yang bekerja pada bagian konstruksi itu tidak akan melampaui 50% dari beban rencana total, maka pembongkaran cetakan dan acuan itu dapat dilakukan setelah beton berumur 2 minggu.

3. CARA PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan beberapa jenis pengujian, diantaranya adalah: pengujian kuat tekan beton, pengujian kuat tarik baja, dan pengujian lentur balok. Dimensi benda uji balok yang digunakan pada penelitian ini adalah 140 x 200 x 1200 mm. Pada bagian bawah balok dipasang 2 buah tulangan ulir berdiameter 10 mm dan pada daerah geser dipasang sengkang berupa baja polos berdiameter 6 mm dengan jarak 50 mm. Pengujian kuat tekan silinder dan kuat lentur balok beton bertulang dilakukan pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Jumlah benda uji silinder beton sebanyak 3 buah dan jumlah benda uji balok beton bertulang sebanyak 2 buah untuk setiap variasi umur. Pengujian balok dilakukan dengan dua buah beban titik yang berjarak 1/3 panjang bentang dari masing-masing tumpuan. Panjang bentang pada pengujian balok ini sebesar 900 mm. Untuk lebih jelasnya, benda uji balok dan pengujian balok dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 berikut ini.



Gambar 3. Benda uji balok.



Gambar 4. Pengujian balok.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

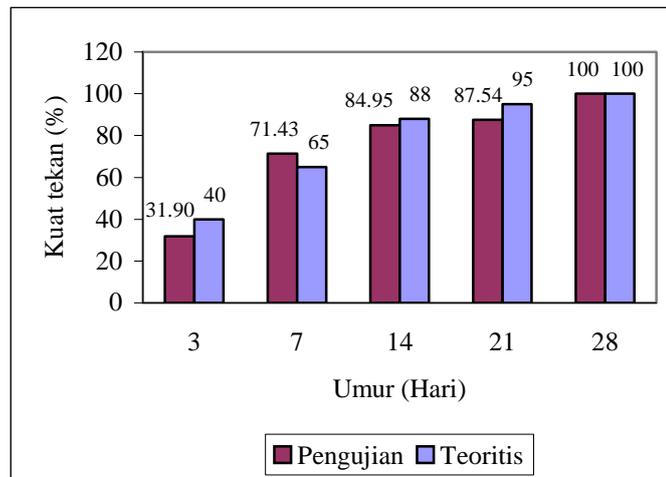
4.1 Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton pada berbagai umur seperti ditunjukkan pada Tabel 1. berikut ini.

Tabel 1. Kuat tekan beton.

Umur (Hari)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Gaya tekan (N)	Kuat tekan (MPa)	Kuat tekan rata-rata (MPa)	Kuat tekan terhadap beton 28 hari (%)
3	148,50	301,15	79343	4,58	4,98	31,90
	150,25	299,55	94313	5,32		
	149,45	302,75	88325	5,04		
7	150,50	301,15	206591	11,61	11,15	71,43
	149,45	300,60	214076	12,20		
	150,25	301,95	191621	10,81		
	150,25	303,60	176650	9,96		
14	149,50	304,95	235035	13,39	13,26	84,95
	151,00	298,95	235035	13,12		
21	149,50	302,70	251502	14,33	13,66	87,54
	148,80	301,20	258987	14,89		
	150,90	301,40	229047	12,81		
	150,02	309,90	223058	12,62		
28	150,20	301,00	273958	15,46	15,61	100
	150,50	298,00	297910	16,75		
	151,10	296,60	261981	14,61		

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari berturut-turut adalah sebesar 4,98 MPa, 11,15 MPa, 13,26 MPa, 13,66 MPa, dan 15,61 MPa. Kuat tekan beton rata-rata pada umur 28 hari sebesar 15,61 MPa, beton ini termasuk beton normal sebab kuat tekannya berada antara 15 – 40 MPa. Peningkatan kuat tekan beton berdasarkan umur pada hasil pengujian ini jika dibandingkan dengan peningkatan kuat tekan beton berdasarkan PBI 1971 adalah seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan peningkatan kuat tekan beton hasil pengujian dengan teoritis berdasarkan PBI 1971.

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa peningkatan kuat tekan beton pada hasil pengujian ini ada yang lebih tinggi dan ada yang lebih rendah dari perkiraan kuat tekan teoritis beton berdasarkan PBI 1971.

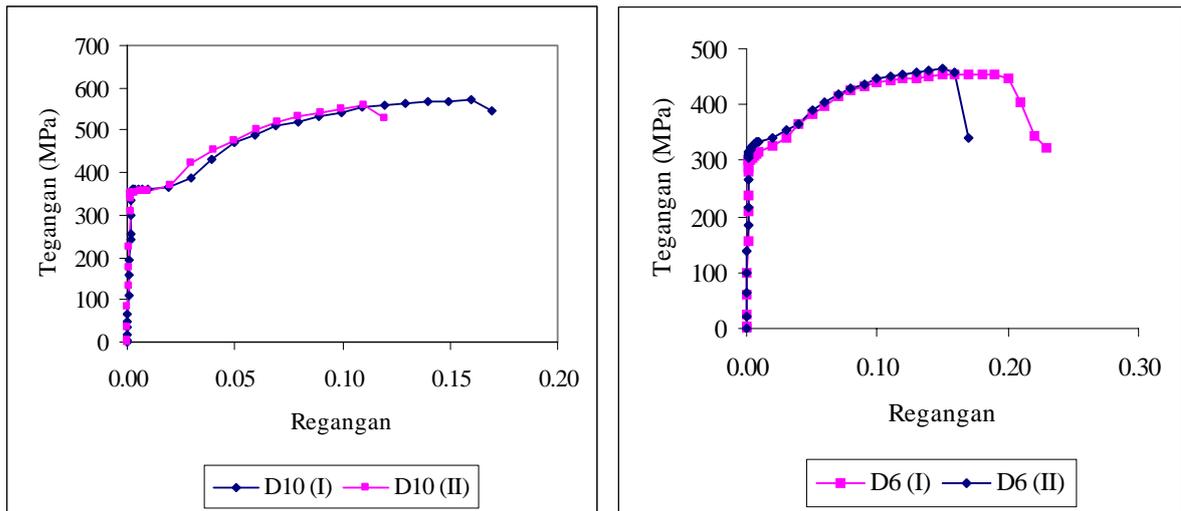
4.2 Kuat Tarik Baja

Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan yang digunakan pada penelitian ini seperti pada Tabel 2 dan Gambar 6 berikut ini.

Tabel 2. Kuat tarik baja.

Benda Uji	Tegangan luluh (MPa)	Tegangan luluh rata-rata (MPa)
D10 (I)	359,10	355,23
D10 (II)	351,36	
D6 (I)	301,93	302,87
D6 (II)	303,82	

Tegangan luluh rata-rata tulangan baja D10 yang digunakan untuk tulangan lentur sebesar 355,23 MPa, dan tegangan luluh rata-rata tulangan baja D6 yang digunakan untuk begel sebesar 302,87 MPa.



Gambar 6. Tegangan-regangan baja D10 dan D6.

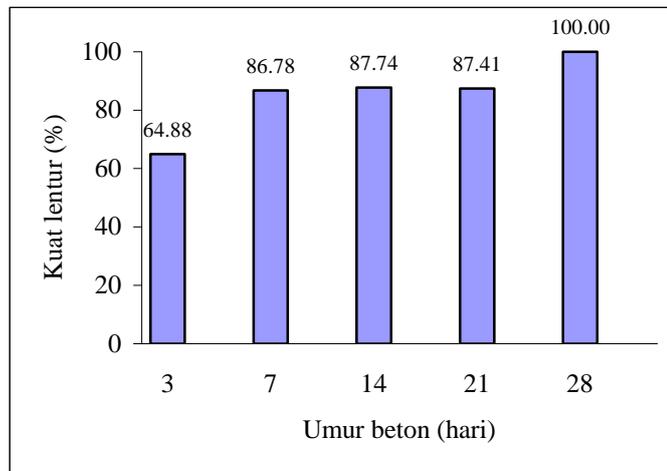
4.3 Kuat Lentur Balok

Hasil pengujian kuat lentur balok pada berbagai variasi umur seperti pada Tabel 3, Gambar 7, dan Gambar 8 berikut ini.

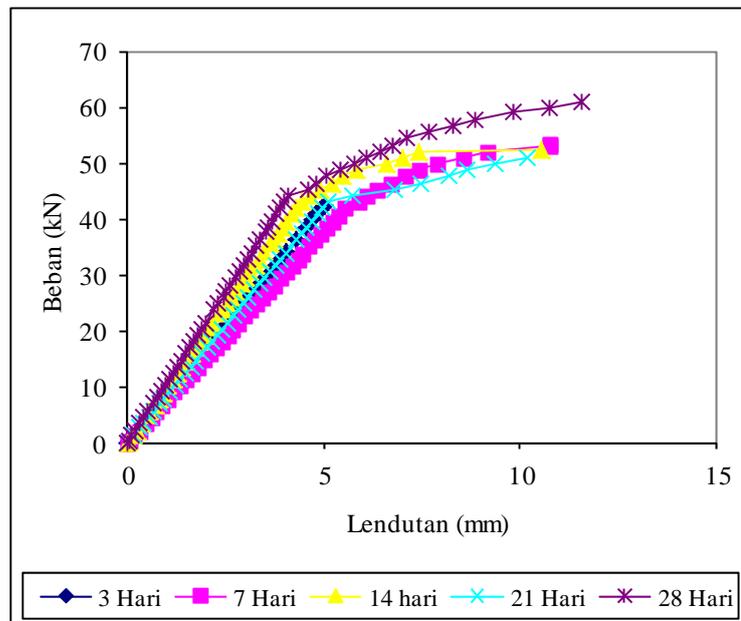
Tabel 3. Hasil pengujian kuat lentur balok

Umur (Hari)	Kuat lentur (kN)	Kuat lentur rata-rata (kN)	Kuat lentur terhadap balok beton 28 hari (%)
3	$\frac{42,49}{37,31}$	39,90	64,88
7	$\frac{53,39}{53,34}$	53,37	86,78
14	$\frac{52,48}{55,43}$	53,96	87,74
21	$\frac{50,90}{56,60}$	53,75	87,41
28	$\frac{61,02}{61,97}$	61,49	100

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa kuat lentur balok pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari berturut-turut sebesar 39,90 kN, 53,37 kN, 53,96 kN, 53,75 kN, dan 61,49 kN. Dari Tabel 3 dan Gambar 7 dapat dilihat bahwa kuat lentur balok pada umur 3 hari sebesar 64,88 %, umur 7 hari sebesar 86,78 %, umur 14 hari sebesar 87,74 %, umur 21 hari sebesar 87,41 %, dari kuat lentur balok pada umur 28 hari.



Gambar 7. Peningkatan kuat lentur balok.



Gambar 8. Hubungan beban dan lendutan.

Pada penelitian ini digunakan tulangan 2D10, jumlah tulangan (n) yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi *balanced* pada berbagai umur beton adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 4 berikut ini. Dari Tabel 4. dapat dilihat bahwa pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari, tulangan terpasang lebih sedikit dari tulangan yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi *balance*. Hal ini berarti pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari tulangan terpasang sudah mencapai kondisi luluh sehingga kuat lenturnya tidak jauh berbeda.

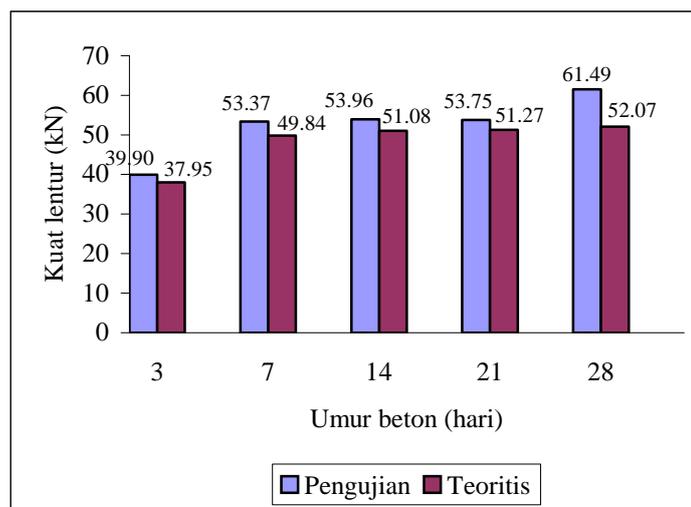
Tabel 4. Jumlah tulangan yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi *balanced*.

Umur (Hari)	f_c (MPa)	f_y (MPa)	ρ_b	b (mm)	d (mm)	$A_{s,b}$ (mm^2)	n (D10)
3	4,98	355,23	0,0064	140	155	138,0577	1,76
7	11,15	355,23	0,0142	140	155	309,1051	3,94
14	13,26	355,23	0,0169	140	155	367,5994	4,68
21	13,66	355,23	0,0175	140	155	378,6884	4,82
28	15,61	355,23	0,0199	140	155	432,7471	5,51

Kuat lentur dan kuat geser teoritis balok berdasarkan kuat tekan beton pada berbagai umur adalah seperti pada Tabel 5 berikut ini. Perbandingan antara kuat lentur balok hasil pengujian seperti pada Tabel 3 dengan kuat lentur teoritis balok seperti pada Tabel 5 adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 9 berikut ini.

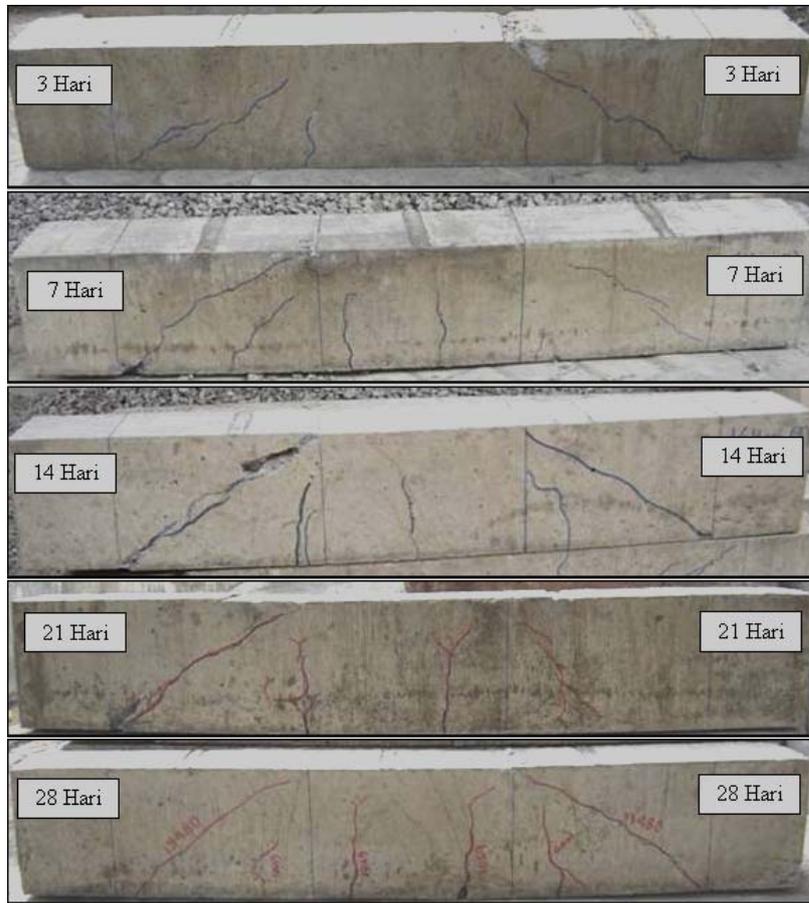
Tabel 5. Kuat lentur dan geser teoritis balok.

Umur (hari)	Kuat lentur (kN)	Kuat geser (kN)	Keterangan
3	37,9548	80,7092	Gagal lentur Tulangan tarik belum luluh
7	49,8374	108,7370	Gagal lentur Tulangan tarik sudah luluh
14	51,0821	110,9234	Gagal lentur Tulangan tarik sudah luluh
21	51,2747	111,3177	Gagal lentur Tulangan tarik sudah luluh
28	52,0723	113,1622	Gagal lentur Tulangan tarik sudah luluh

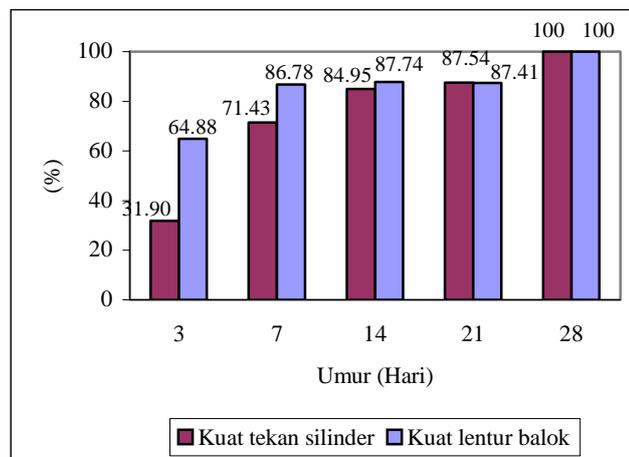


Gambar 9. Perbandingan kuat lentur hasil pengujian dan teoritis balok.

Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa kuat lentur balok hasil pengujian lebih besar dari kuat lentur teoritis. Secara teoritis berdasarkan Tabel 5. kegagalan balok pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari berupa kegagalan lentur. Pada pengujian ini bentuk kegagalan balok dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Kegagalan balok.



Gambar 11. Perbandingan kuat tekan silinder beton dengan kuat lentur balok.

Dari gambar 10 dapat dilihat bahwa kegagalan balok adalah geser dan lentur. Hal ini kemungkinan diakibatkan pengaruh kelangsingan yaitu jarak beban dari tumpuan (a) dibagi dengan tinggi efektif (d) yang terlalu kecil. Perbandingan kuat tekan silinder beton dengan kuat lentur balok terhadap umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 11.

Dari Gambar 11 dapat dilihat bahwa, pada umur 3 hari kuat tekan beton sebesar 31,90 % dan kuat lentur balok sebesar 64,88 %, pada umur 7 hari kuat tekan beton sebesar 71,43 % dan kuat lentur balok sebesar 86,78 %, pada umur 14 hari kuat tekan beton sebesar 84,95 % dan kuat lentur balok sebesar 87,74 %, pada umur 21 hari kuat tekan beton sebesar 87,54 % dan kuat lentur balok sebesar 87,41 %, jika dibandingkan dengan kuat tekan dan kuat lentur pada umur 28 hari. Kuat tekan beton mengalami peningkatan setara dengan bertambahnya umur beton. Kuat tekan beton mengalami peningkatan yang cukup besar sampai umur 14 hari, yaitu sudah mencapai 84,95 %. Kuat lentur balok mengalami peningkatan yang cukup besar sampai umur 7 hari, yaitu sudah mencapai 86,78 %. Pada umur 7 hari tulangan balok sudah mencapai kondisi luluh karena tulangan yang dipakai kurang (*under reinforced*).

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pembukaan *scaffolding* dapat dilakukan setelah kekuatan beton sudah dapat mengimbangi kekuatan tulangan yang terpasang. Hal ini berhubungan dengan jumlah tulangan yang terpasang pada balok, jika tulangan yang terpasang jauh lebih kecil dari kondisi seimbang (*balanced*) maka pembongkaran *scaffolding* dapat dilakukan lebih cepat. Kesimpulan ini harus diteliti lagi lebih jauh karena ini masih sebatas tinjauan terhadap kuat lenturnya saja dan masih perlu ditinjau lagi hubungan antara umur balok beton dengan lendutannya dan faktor-faktor lainnya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Kuat tekan beton pada umur 3, 14, dan 21 hari lebih kecil dari perkiraan kuat tekan beton berdasarkan PBI 1971, sedangkan pada umur 7 hari lebih besar.
2. Kuat tekan beton mengalami peningkatan setara dengan bertambahnya umur beton dan peningkatan yang cukup besar sampai umur 14 hari.
3. Kuat lentur balok mengalami peningkatan yang cukup besar sampai umur 7 hari.
4. Kuat lentur balok setelah umur 7 hari tidak jauh berbeda, hal ini diakibatkan kuat tekan beton mulai dari umur 7 hari sudah cukup untuk mengimbangi tulangan untuk mencapai kondisi luluh.

5. Kuat lentur balok hasil pengujian lebih besar dari kuat lentur teoritis.
6. Pembongkaran *scaffolding* dapat dilakukan lebih cepat pada balok dengan tulangan terpasang jauh lebih kecil dari kondisi seimbang (*balanced*).

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan luas tulangan terpasang yang bervariasi mulai dari luas tulangan minimum sampai maksimum sesuai dengan yang disyaratkan oleh peraturan yang berlaku sehingga pengaruh umur beton terhadap kuat lentur balok menjadi semakin jelas.
2. Kelangsingan balok perlu diperhitungkan agar kegagalan yang terjadi betul-betul berupa kegagalan lentur seperti tujuan awal dari penelitian.
3. Perlu dilakukan penelitian hubungan antara umur balok beton dengan lendutannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971)*, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik.
2. Anonim, SNI 03-1974-1990, *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*, Puslitbang Permukiman, Departemen Pekerjaan Umum.
3. Anonim, SNI 03-2847-2002, *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Puslitbang Permukiman, Departemen Pekerjaan Umum.
4. Dipohusodo, I., 1994, *Struktur Beton Bertulang*, PT, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
5. Salain, I.M.A, 2007, *Perbandingan Kuat Tekan Dan Permeabilitas Beton Yang Menggunakan Semen Portland Pozzolan Dengan Yang Menggunakan Semen Portland Tipe I*, Seminar dan Pameran HAKI Konstruksi Tahan Gempa di Indonesia. <http://www.hakikonstruksi.com/images/IMadeAlitKaryawanSalain.pdf>
6. Siswadi, Rapa, A., Puspitasari, D., 2007, *Pengaruh Penambahan Serbuk Kayu Sisa Penggajian Terhadap Kuat Desak Beton*, Jurnal Teknik Sipil, Volume 7, Nomor 2, Universitas Atmajaya, Yogyakarta. http://www.uajy.ac.id/jurnal/jurnal_teknik_sipil/7/2/Pengaruh%20Penambahan%20Serbuk%20Kayu%20Sisa%20Penggajian%20Terhadap%20Kuat%20Desak%20Beton.pdf
7. Tjokrodinuljo, K., 1996, *Teknologi Beton*, Buku Ajar, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

8. Winter, G. dan Nilson, Arthur H., 1993, *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
9. Yusriadi, 2008, *Standar Kompetensi Bidang Konstruksi Batu/Beton*, <http://plinkplane.blogs.ie/2008/03/28/standar-kompetensi-bidang-konstruksi-batu-beton/>