

PENGARUH LAMA WAKTU PENGECORAN PADA BALOK LAPIS KOMPOSIT BETON BERTULANG TERHADAP AKSI KOMPOSIT, KAPASITAS LENTUR DAN DEFLEKSI

Wisnumurti, M. Taufik Hidayat dan Wahyu Ardhi Bramanto
Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
Jl. Mayjen Haryono 147 Malang

ABSTRAK

Balok lapis beton komposit bertulang biasa digunakan dalam proyek jembatan. Pada struktur jembatan dibuat dengan jumlah 2 (dua) lapis. Balok lapis pertama adalah gelagar induk yang terbuat dari beton bertulang pracetak. Lapis kedua adalah pelat beton bertulang yang dicor di atas balok lapis pertama. Karena balok lapis pertama dikerjakan jauh hari sebelum pengerjaan lapis kedua maka akan ada perbedaan kuat tekan beton pada balok lapis tersebut.

Karena adanya perbedaan waktu pengecoran, maka tiap lapis pada balok ini harus mampu berperilaku sebagai balok komposit sehingga lapis kedua bisa dengan sempurna membantu kekuatan lentur dan lendutan balok secara keseluruhan. Selain baja tulangan yang sering dipakai sebagai *shear connector*, lekatan beton antar kedua lapis juga diduga dapat menahan geser. Untuk itu dilakukan penelitian tentang balok lapis komposit beton berdasarkan kuat lentur dan lendutan.

Hasil penelitian secara umum dapat ditarik kesimpulan bahwa terjadi peningkatan kuat lentur balok berdasarkan penambahan umur beton. Dan tidak adanya retakan yang segaris dengan pertemuan antar lapis. Hal ini menunjukkan bahwa aksi komposit sepenuhnya terjadi pada balok lapis komposit beton-beton.

Kata kunci : balok beton bertulang, komposit

PENDAHULUAN

Sejalan dunia konstruksi yang ditunjang oleh perkembangan pesat di bidang pelaksanaan bangunan, muncul teknik pembuatan beton yang sangat bervariasi seperti balok lapis komposit beton bertulang.

Balok lapis beton komposit bertulang ini biasa digunakan dalam proyek jembatan. Pada struktur jembatan ini dibuat dengan jumlah 2 (dua) lapis. Balok lapis pertama adalah gelagar induk yang terbuat dari beton bertulang pracetak. Lapis kedua adalah pelat beton bertulang yang dicor di atas balok lapis pertama. Karena balok lapis pertama

dikerjakan jauh hari sebelum pengerjaan lapis kedua maka akan ada perbedaan kuat tekan beton pada balok lapis tersebut.

Karena adanya perbedaan waktu pengecoran, maka tiap lapis pada balok lapis ini harus mampu berperilaku sebagai balok komposit sehingga lapis kedua bisa dengan sempurna membantu kekuatan lentur dan defleksi balok secara keseluruhan. Agar kondisi ini bisa dipenuhi, maka pada umumnya konstruksi balok lapis menggunakan *shear connector* sebagai penghubung antar lapis.

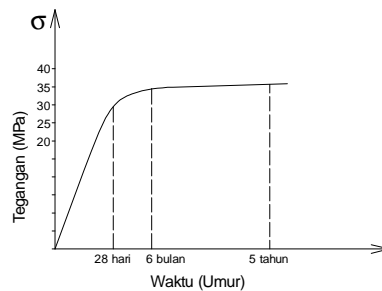
TINJAUAN PUSTAKA

Beton

Beton merupakan suatu material yang menyerupai batu yang diperoleh

dengan membuat suatu campuran dengan proporsi tertentu dari semen, pasir, agregat dan air, kemudian membuat campuran tersebut menjadi keras dalam cetakan sesuai dengan bentuk dari dimensi struktur yang diinginkan. Beton dalam berbagai variasi sifat kekuatan dapat diperoleh dengan pengaturan yang sesuai dari perbandingan jumlah material pembentuknya.

Nilai kuat tekan beton beragam sesuai dengan umurnya dan biasanya nilai kuat tekan beton ditentukan pada waktu beton mencapai umur 28 hari setelah pengecoran. Bentuk kurva kuat tekan beton versus waktu untuk umur beton tertentu tampak seperti pada gambar 1. Umumnya pada umur 7 hari kuat tekan beton mencapai 70% dan pada umur 14 hari mencapai 85% - 90% dari kuat tekan beton pada umur 28 hari.



Gambar 1. Diagram kuat tekan beton versus umur beton

Semen

Semen merupakan jenis pengikat hidrolis yang artinya dapat mengeras bila beraksi dengan air. Fungsi utamanya adalah sebagai perekat bahan penyusun mortar. Senyawa-senyawa utama semen yaitu Trikalsium Silikat (C3S), Dikalsium Silikat (C2S), Trikalsium Aluminat (C3A), dan Tetrakalsium Aluminoferrat (C4AF). Dari senyawa tersebut, (C3 S) dan (C2S) yang bersifat sebagai perekat dan memberi kekuatan pada semen bila bereaksi dengan air (Edward G. Nawy, 1990:11).

Penambahan air pada semen akan menghasilkan pasta dan jika mengeras akan mempunyai kekuatan seperti batu. Dari keempat senyawa di atas, yang mula-mula mengering adalah C3A, kemudian C3S, sedangkan C2S mengalami hidrasi secara perlahan-lahan. C2S menghasilkan panas hidrasi yang lebih rendah dan mempengaruhi kekuatan tekan hancur pada umur yang lebih lanjut. C3A mempengaruhi proses pengikatan awal mortar.

Air

Air diperlukan pada pembuatan mortar agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen, untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya. Pada umumnya air minum dapat digunakan untuk campuran mortar. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lain bila digunakan untuk campuran mortar akan menurunkan kekuatannya dan dapat juga mengubah sifat-sifat semen (Edward G. Nawy, 1990:13).

Pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total (semen + pasir) material yang menentukan. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya, campuran mortar yang dihasilkan akan kurang kekuatannya.

Agregat

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam memberikan sumbangan kekuatan terhadap beton. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60 % sampai 80% volume agregat. Agregat harus mempunyai gradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen menghasilkan susunan beton yang padat.

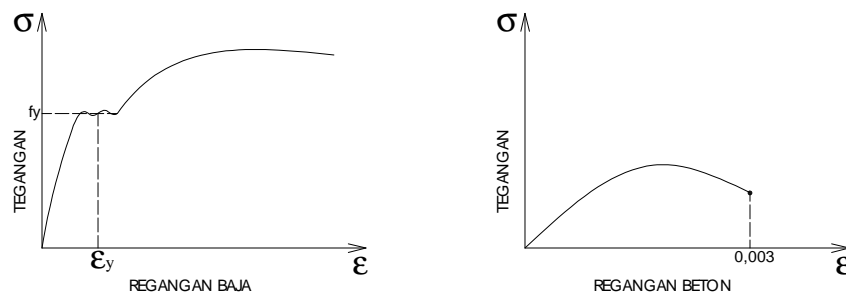
Secara garis besar pemilihan agregat yang baik digunakan sebagai material penyusun beton perlu memperhatikan hal - hal sebagai berikut :

- Mutu dan kualitasnya
- Ukuran dan gradasinya
- Kebersihannya
- Kekerasannya

- Kekasarannya
- Bentuk butirnya
- Bentuk permukaannya

Beton Bertulang

Beton bertulang adalah suatu bahan bangunan yang kuat, tahan lama, dan dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk dan ukuran, yang merupakan kombinasi dari beton dan tulangan baja. Manfaat dan keserbagunaannya dicapai dengan mengkombinasikan segi-segi yang terbaik dari beton dan baja. Baja penguat atau baja tulangan memikul tarik maupun tekan, kekuatan lelehnya kurang lebih sepuluh kali dari kekuatan tekan struktur beton yang umum, atau seratus kali dari kekuatan tariknya.



Gambar 2. Kurva Tegangan – Regangan Antara Baja Tulangan dan Beton

Lentur Pada Balok

Teori lentur untuk beton bertulang beranggapan bahwa beton akan retak didaerah tegangan tarik, dan setelah retakan terjadi seluruh tarikan ditahan oleh tulangan. Teori ini juga menganggap bahwa tampang bagian konstruksi struktural yang datar akan tetap datar setelah terjadi peregangan, sehingga harus ada distribusi regangan linier pada tampang. Beton lemah terhadap tarik, sehingga beton akan retak pada taraf pembebanan kecil, yaitu sekitar 10% dari kekuatan tekannya. Akibatnya bagian beton yang mengalami tarik pada penampang diabaikan dalam perhitungan analisis dan desain, juga tulangan tarik yang ada dianggap memikul gaya tarik.

Tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur luar (momen batas).

Tegangan ini hampir selalu menentukan dimensi geometris penampang beton bertulang. Berdasarkan terjadinya leleh tulangan tarik atau hancurnya beton yang tertekan dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Penampang Balanced
2. Penampang Over-reinforced
3. Penampang Under-reinforced

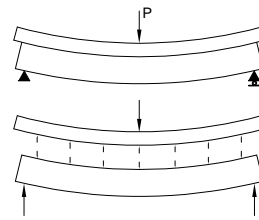
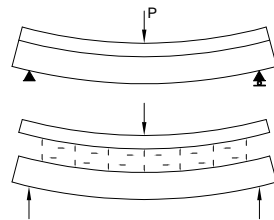
Dengan demikian hampir semua peraturan perencanaan merekomendasikan perencanaan balok dengan tulangan yang bersifat *Under-reinforced* untuk memberikan peringatan cukup, seperti defleksi yang berlebihan.

Balok Lapis beton

Yang dimaksud dengan balok lapis beton adalah balok yang dibuat dengan dua

tahap pengecoran, yaitu tahap pertama adalah pengecoran balok lapis bawah kemudian tahap kedua adalah pengecoran lapis atas. Pada kedua lapis tersebut diharapkan dapat kemampuan layan seperti pada balok biasa yang dicor secara

langsung. Sehingga balok lapis ini membutuhkan aksi komposit antar kedua lapis. Aksi komposit pada balok lapis ini disebut sebagai aksi komposit beton – beton.



Balok komposit yang melendut

Balok non komposit yang melendut

Gambar 3. Perbedaan balok komposit dengan balok non komposit

Lendutan Balok Komposit Beton-Beton

Kemampuan layan (*serviceability*) suatu struktur ditentukan oleh lendutan, retak, korosi tulangan, dan rusaknya permukaan betonnya. Defleksi yang diijinkan pada system struktur sangat bergantung pada besarnya defleksi yang masih bisa ditahan oleh komponen-komponen struktur yang berinteraksi tanpa kehilangan penampilan esesis dan tanpa kerusakan pada elemen yang terdefleksi (Edward G. Nawy, 1990 : 267).

Lendutan yang berlebihan pada balok komposit dapat menyebabkan rusaknya partisi dibawahnya, dan lendutan yang berlebihan pada balok

komposit di atas jendela dapat menyebabkan kaca jendela pecah. Oleh karena itu control defleksi merupakan hal yang sangat penting.

Defleksi batang-batang struktural merupakan fungsi dari panjang bentang, perletakan, atau kondisi ujungnya, jenis pembebanan (beban terpusat atau beban terdistribusi), dan kekakuan lentur EI dari elemen.

Hipotesis Penelitian

Terjadinya nilai kuat lentur dan lendutan yang berbeda pada balok lapis komposit beton berdasarkan perbedaan umur antar lapis sebagai indikasi adanya perbedaan aksi komposit antar lapis beton.

METODOLOGI PENELITIAN

Beton

Pengujian pada beton adalah pengujian slump beton dan pengujian kuat tekan. Pengujian slump dimaksudkan untuk memperoleh angka slump beton. Slump beton adalah besaran kekentalan (*viscosity*) / plastisitas dan kohesif dari beton segar. Pengujian menggunakan kerucut Abrams, yaitu kerucut terpancung dengan ukuran diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm, dan tinggi 30 cm. Pengukuran slump dilakukan dengan cara mengukur tegak

lurus antara tepi atas cetakan dengan tinggi rata – rata benda uji.

Pengujian kuat tekan menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan dimensi : tinggi = 30 cm dan diameter = 15 cm. Pemeriksaan kuat tekan beton dilakukan pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari. Dengan masing – masing jumlah benda uji 4 buah.

Pembuatan benda uji dan prosedur pengujian kuat tekan beton mengikuti peraturan SNI M-14-1989-F.

Pengujian Kuat Lentur Balok

Benda uji berbentuk balok lapis beton bertulang tunggal dengan panjang = 120 cm, tinggi = 20 cm, dan lebar = 10 cm. Lapis pertama dicor dengan tinggi = 15 cm. Balok lapis pertama ini dipasang 3 (tiga) tulangan tarik dengan diameter 10 mm dengan tebal selimut beton = 2 cm. Kemudian setelah beton lapis pertama berumur 14 hari, dilanjutkan dengan pengecoran lapis kedua dengan tebal = 5 cm. Balok lapis kedua ini tidak diperkuat dengan baja tulangan,

Pada saat pengecoran lapis atas, permukaan beton bawah dilakukan perlakuan khusus yaitu dikasarkan

hingga mencapai amplitude penuh sebesar ± 5 mm dan pada saat akan dilakukan pengecoran lapis atas, permukaan beton lapis bawah harus dibersihkan dan juga dihilangkan serpihannya. Kemudian permukaannya harus dibasahi dan air yang menggenang harus dibuang. (SNI – 2847 – 2002 – hal 64 dan 102)

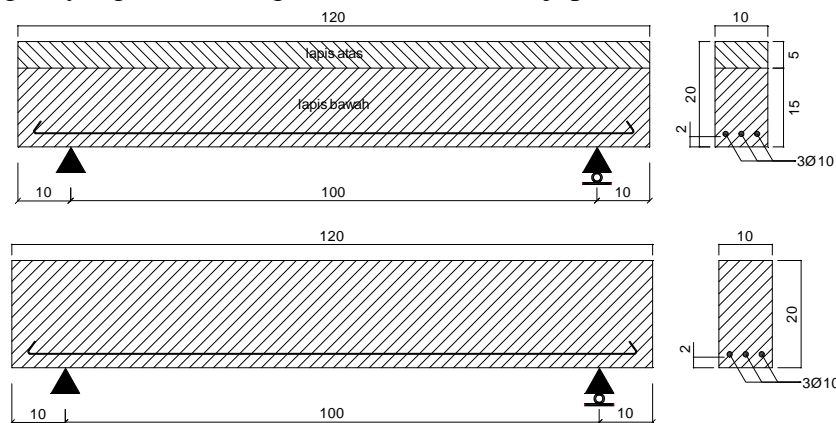
Setelah pengecoran lapis atas selesai dan balok lapis sudah jadi, maka dilakukan pengujian kuat lentur balok pada total umur 17 hari, 21 hari, dan 28 hari. Pembuatan benda uji pada masing-masing perlakuan diperhatikan pada tabel berikut :

Tabel 1. Data Masing-masing Balok Yang Akan Diuji

Jenis balok	Balok lapis			Balok kontrol
Dimensi benda uji (cm)	(15+5) x 10 x 120			20 x 10 x 120
Umur lapis bawah	17 hari	21 hari	28 hari	28 hari
Umur lapis atas	3 hari	7 hari	14 hari	
Tulangan tarik	3 Ø 10	3 Ø 10	3 Ø 10	3 Ø 10
Jumlah benda uji	3	3	3	3

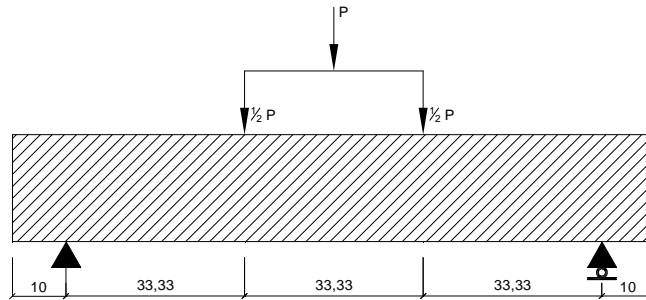
Balok kontrol adalah balok dengan dimensi dan penulangan yang sama dengan balok

lapis yang dicor langsung (tidak berlapis) dan diuji pada umur 28 hari.



Gambar 4. Gambar Potongan Memanjang dan Melintang Balok Lapis dan Balok Monolit

Pelaksanaan pengujian kuat lentur balok secara sederhana dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 5. Gambar pengujian kuat lentur balok

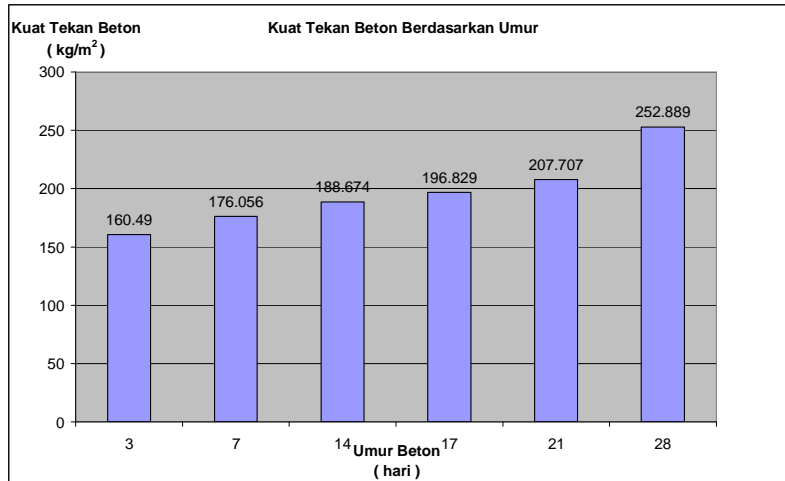
Langkah – langkah pengujiannya adalah :

1. benda uji yang telah mencapai umur yang ditentukan ditempatkan pada frame uji struktur kapasitas 15 ton dengan tumpuan sendi – rol pada kedua ujungnya. Pengujian kuat lentur dilakukan dengan bantuan alat dongkrak berkapasitas 25 ton.
2. Pemasangan dial dengan memasang jarum bacaan di bawah permukaan benda uji.
3. Pemasangan alat proving ring dengan kapasitas 10 ton di atas benda uji dengan posisi di pusat massa benda uji.
4. Penambahan beban yang dilakukan sampai benda uji mengalami perubahan bentuk (runtuh).

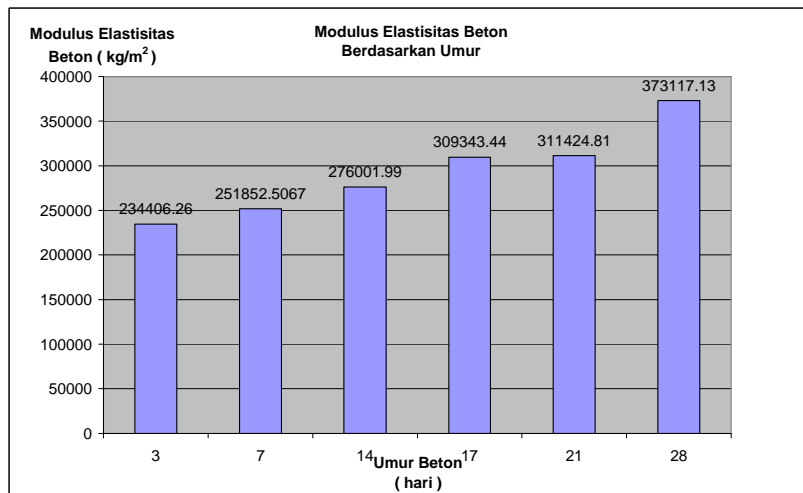
PEMBAHASAN

Tabel 2. Rekapitulasi nilai tegangan dan modulus elastisitas beton

Umur (hari)	No silinder	Kuat tekan (kg/cm ²)	Kuat tekan Rata-rata (kg/cm ²)	Modulus elastisitas (kg/cm ²)	Modulus elastisitas Rata-rata (kg/cm ²)
3	1	165,034	160,490	317284.62	234406.26
	2	175,421		264281.32	
	3	167,631		168897.97	
	4	133,874		187161.14	
7	1	183,615	176,056	252718.04	251852.51
	2	200,292		265653.07	
	3	178,191		-	
	4	142,126		237186.41	
14	1	199,08	188,674	303786.17	276001.99
	2	210,275		259646.00	
	3	156,667		264573.81	
17	1	182,346	196,829	311839.41	309343.44
	2	198,503		279823.52	
	3	183,5		-	
	4	222,97		336367.39	
21	1	216,391	207,707	334112.27	311424.81
	2	186,039		290819.37	
	3	199,888		257356.51	
	4	228,509		363411.08	
28	1	269,479	252,889	641562.44	373117.13
	2	263,132		232507.11	
	3	230,817		278555.03	
	4	248,129		339843.94	



Gambar 6. Grafik Hubungan kuat tekan beton dengan umur beton pada penelitian



Gambar 7. Grafik Hubungan modulus elastisitas beton dengan umur beton pada penelitian

Dari hasil pengujian didapatkan kesimpulan bahwa kuat tekan beton sebesar 20 MPa pada umur beton 28 hari sudah bisa dicapai, bahkan terjadi peningkatan kuat tekan dari perencanaan semula. Begitu juga dengan pertambahan kuat tekan beton terhadap pertambahan umur beton sudah berhasil didapatkan.

Peningkatan nilai modulus elastisitas beton berdasarkan pertambahan umur juga berhasil dicapai. Hal ini membuktikan bahwa semakin tua umur beton maka semakin besar pula kuat tekan dan modulus elastisitasnya.

Pengujian kuat lentur dan lendutan balok lapis

Benda uji berupa balok lapis komposit beton-beton dengan tebal lapis bawah sebesar 15 cm dan lapis atas 5 cm, sehingga ukuran total sebesar 10 x 20 x 120 cm diuji dengan jarak antar tumpuan 100 cm. sebagai balok kontrol adalah balok monolit dengan dimensi 10 x 20 x 120 cm yang diuji pada umur 28 hari. Pengujian balok lapis komposit beton-beton dilakukan pada umur yang telah ditentukan pada tabel berikut :

Tabel 3. Tabel umur beton pada balok

Benda uji	Balok lapis			Balok kontrol (monolit)
	I	II	III	
Dimensi balok (cm)	(15+5) x 10 x 120			20 x 10 x 120
Umur lapis bawah	17 hari	21 hari	28 hari	28 hari
Umur lapis atas	3 hari	7 hari	14 hari	
Tulangan tarik	3 Ø 10	3 Ø 10	3 Ø 10	3 Ø 10

Pengujian ini dilaksanakan untuk mendapatkan besarnya beban maksimum dan lendutan yang terjadi pada balok dengan penambahan beban secara bertahap.

Pengujian ini memakai beban terpusat yang didistribusikan ke sepertiga bentang dan menggunakan proving ring 10 ton.

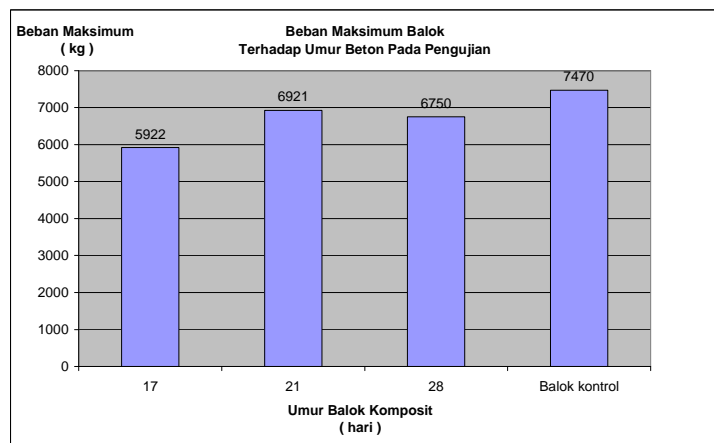
Tabel 4. Tabel hasil pengujian beban pada balok lapis no. 1 pada umur 17 hari

No.	Beban (kg)	Penurunan pada dial ke : (cm)		
		1	2 (tengah)	3
1	0	0	0	0
2	270	0.0185	0.027	0.031
3	540	0.024	0.057	0.058
4	810	0.08	0.081	0.085
5	1080	0.0845	0.095	0.097
6	1350	0.088	0.107	0.106
7	1620	0.092	0.119	0.1165
8	1890	0.101	0.13	0.125
9	2160	0.118	0.142	0.135
10	2430	0.126	0.156	0.145
11	2700	0.138	0.17	0.158
12	2970	0.144	0.182	0.168
13	3240 *	0.158	0.1945	0.1785
14	3510	0.165	0.212	0.1965
15	3780	0.178	0.2385	0.22
16	4050	0.198	0.26	0.24
17	4320	0.205	0.279	0.259
18	4590	0.224	0.295	0.275
19	4860	0.251	0.316	0.295
20	5130	0.262	0.336	0.317
21	5400	0.28	0.351	0.331
22	5670	0.306	0.371	0.3515
23	5940	0.324	0.391	0.377
24	6210	0.339	0.421	0.398
25	6480	0.354	0.451	0.424
26	6642	0.388	0.481	0.446

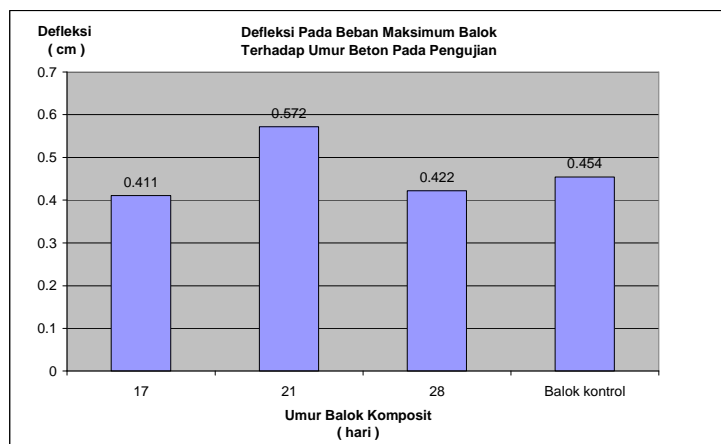
Keterangan : * terjadinya retak pertama kali

Tabel 5. Tabel rekapitulasi beban maksimum dan perpindahan maksimum di tengah bentang masing – masing benda uji

Model Benda Uji	No. Balok	Beban maks		Lendutan pada beban maks	
		(kg)	Rata-rata	(cm)	Rata-rata
Komposit Umur 17 hari	1	6642	5922	0,481	0,411
	2	5022		0,332	
	3	6102		0,421	
Komposit Umur 21 hari	1	6075	6921	0,504	0,572
	2	7290		0,583	
	3	7398		0,629	
Komposit Umur 28 hari	1	7020	6750	0,383	0,442
	2	5940		0,343	
	3	7290		0,540	
Monolit Umur 28 hari	1	7830	7470	0,460	0,454
	2	7020		0,505	
	3	7560		0,397	



Gambar 8. Grafik Hubungan beban maksimum balok dengan umur beton pada penelitian



Gambar 9. Grafik Hubungan defleksi pada beban maksimum balok dengan umur beton pada penelitian

Pada pengujian beban maksimum balok komposit beton-beton didapatkan hasil yang memuaskan yaitu terjadinya peningkatan kuat lentur balok komposit seiring peningkatan umur beton. Meskipun demikian masih terdapat sedikit penurunan nilai beban maksimum pada balok lapis komposit beton-beton pada umur total 28 hari. Hal ini bisa disebabkan berbagai faktor, antara lain :

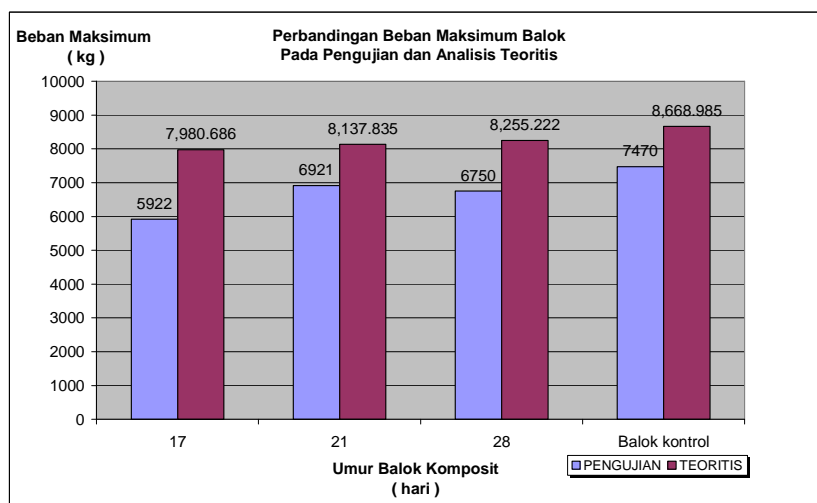
1. Pematatan beton segar pada saat pembuatan balok kurang baik, dikarenakan pematatan dilakukan dengan cara manual atau tidak menggunakan vibrator.
2. Pada saat pengupasan permukaan beton terjadi penumbukan yang terlalu keras, sehingga dimungkinkan terjadi perubahan ikatan antar material penyusun beton pada balok tersebut.
3. Hasil pengupasan yang kurang baik sehingga kekasaran permukaan tiap

balok tidak seragam. Hal ini berpengaruh pada aksi komposit yang dihasilkan sehingga akan mempengaruhi kekuatan balok.

Pada data defleksi menunjukkan besaran penurunan yang sangat berbeda. Hasil yang didapat dari pengujian tidak sesuai dengan apa yang ingin dicapai yaitu semakin tua umur beton maka semakin kecil defleksi yang terjadi. Hal ini bisa disebabkan berbagai faktor yang sudah dibahas di atas. Akan tetapi sebab yang paling mempengaruhi perbedaan nilai defleksi maksimum adalah pola keruntuhan balok komposit pada saat pengujian dilaksanakan. Pada saat pengujian dilaksanakan banyak terjadi keruntuhan tumpuan, yaitu beton yang berada tepat diatas tumpuan mengalami kahancuran sehingga mempengaruhi pembacaan dial defleksi.

Tabel 6. Rekapitulasi perbandingan hasil perhitungan teoritis beban runtuh dengan hasil penelitian pada balok

No.	Umur total balok (hari)	Beban runtuh (Pn) (kg)	
		Teoritis	Pengujian
1	17	7980,686	5922
2	21	8137,835	6921
3	28	8255,222	6750
4	Balok kontrol	8668,985	7470



Gambar 10. Grafik Perbandingan hasil beban maksimum pada pengujian balok dengan perhitungan teoritis

Pada grafik perbandingan hasil pengujian dengan hasil perhitungan teoritis terjadi perbedaan nilai yang cukup besar. Hal ini bisa disebabkan oleh beberapa kemungkinan pada saat pengujian, antara lain :

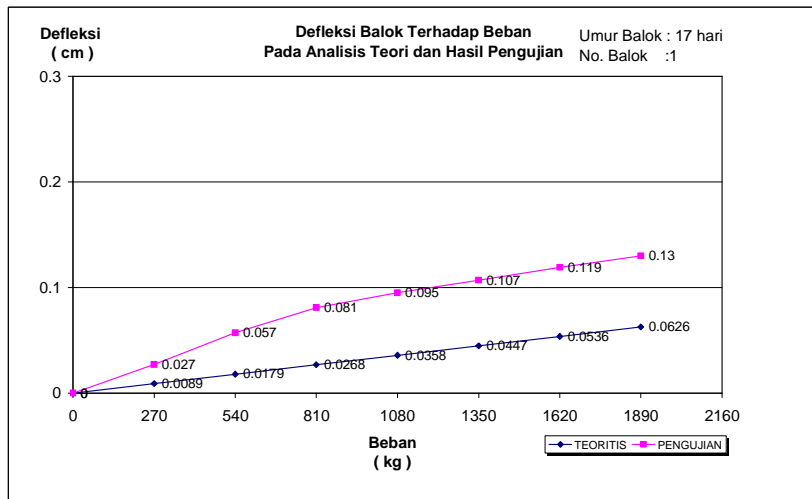
1. Asumsi terjadinya lekatan 100 % pada perhitungan teoritis tidak bisa dengan sempurna dipenuhi oleh benda uji, sehingga menimbulkan penurunan kuat lentur dari nilai perhitungan teoritis.

2. Kemungkinan terjadinya lekatan antara beton dengan baja tulangan tidak terlalu baik, sehingga terjadi slip antara beton dengan baja tulangan.

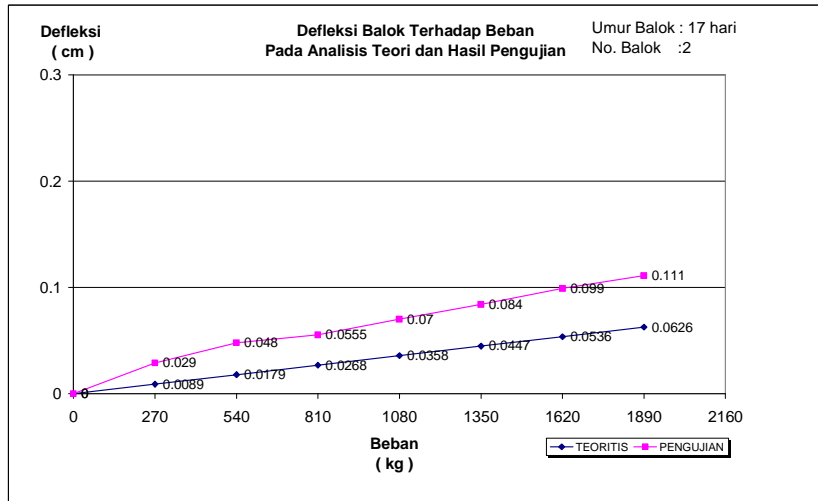
Hal ini menunjukkan bahwa sifat mekanis dari beton muda sangat berbeda dengan beton dewasa. Sehingga bagaimanapun juga perlu dilakukan penelitian khusus tentang beton muda agar didapatkan suatu analisis yang tepat dalam menentukan kekuatan dan perilaku dari balok yang disusun dengan beton muda.

Tabel 7. Rekapitulasi perhitungan teoritis defleksi pada balok pada keadaan elastis.

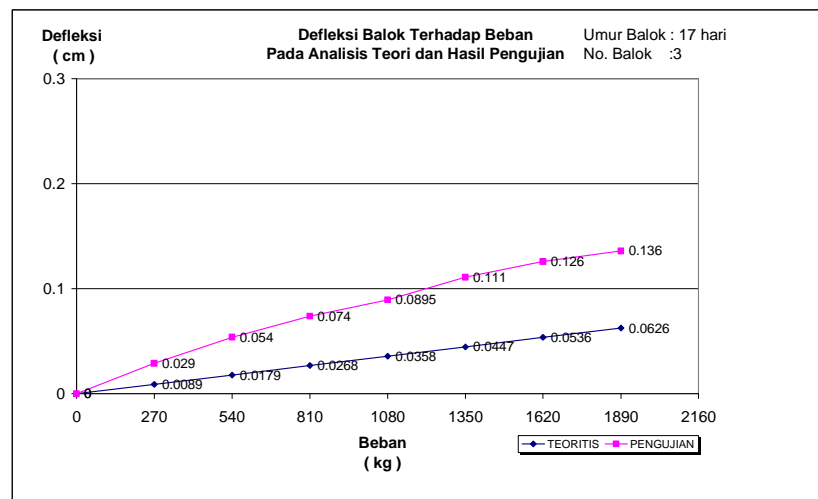
No. Defleksi	P (kg)	Defleksi (cm)			
		Balok lapis			Balok kontrol 28 hari
		17 hari	21 hari	28 hari	
1	270	0.0089	0.0089	0.0074	0.0075
2	540	0.0179	0.0178	0.0149	0.0150
3	810	0.0268	0.0267	0.0223	0.0225
4	1080	0.0358	0.0356	0.0298	0.0300
5	1350	0.0447	0.0445	0.0372	0.0374
6	1620	0.0536	0.0535	0.0447	0.0449
7	1890	0.0626	0.0624	0.0521	0.0524



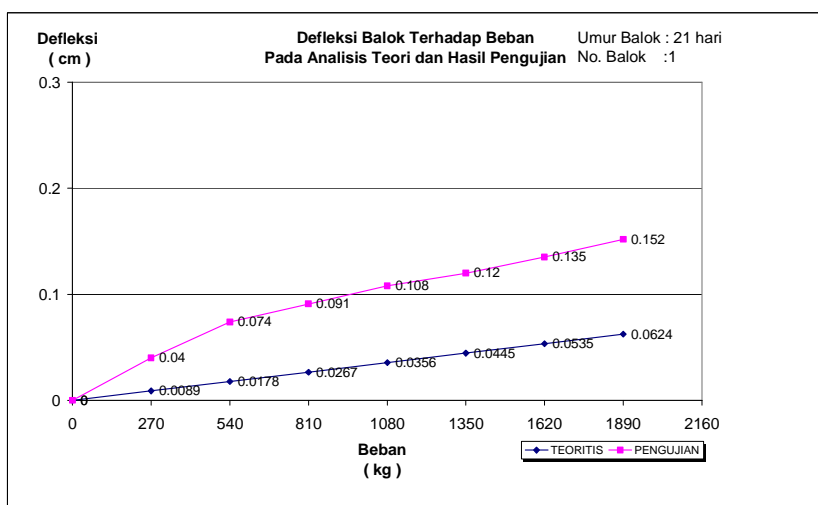
Gambar 11. Grafik Perbandingan defleksi balok komposit umur 17 hari balok ke-1



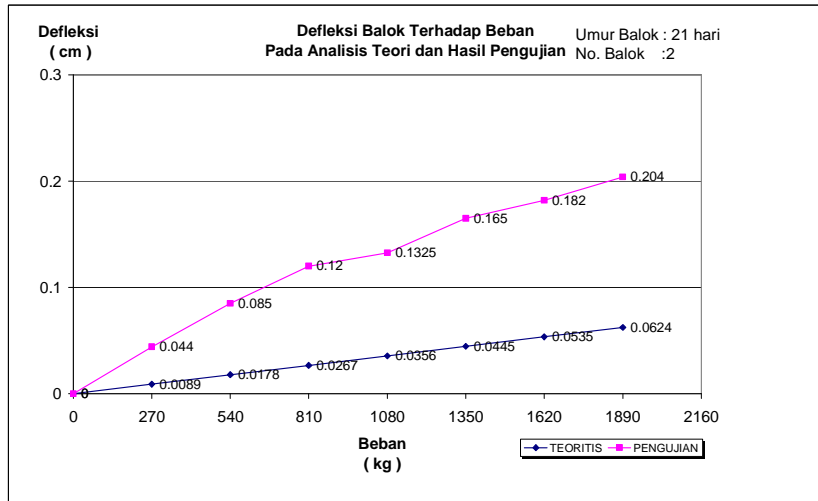
Gambar 12. Grafik Perbandingan defleksi balok komposit umur 17 hari balok ke-2



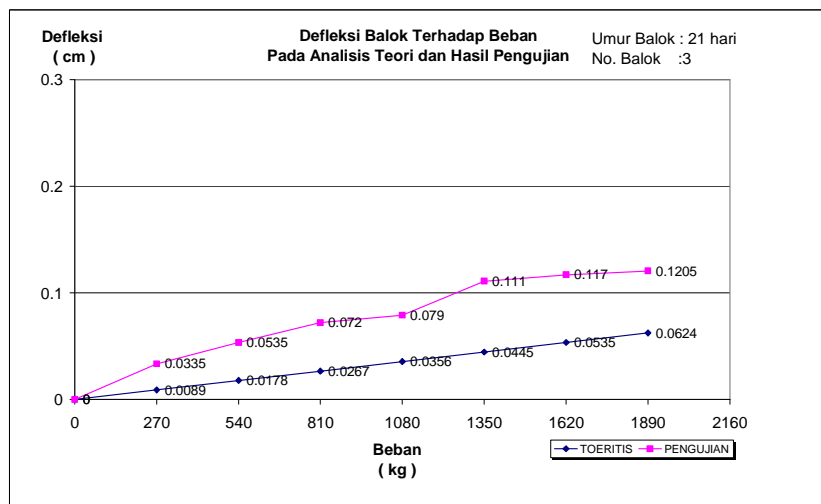
Gambar 13. Grafik Perbandingan defleksi balok komposit umur 17 hari balok ke-3



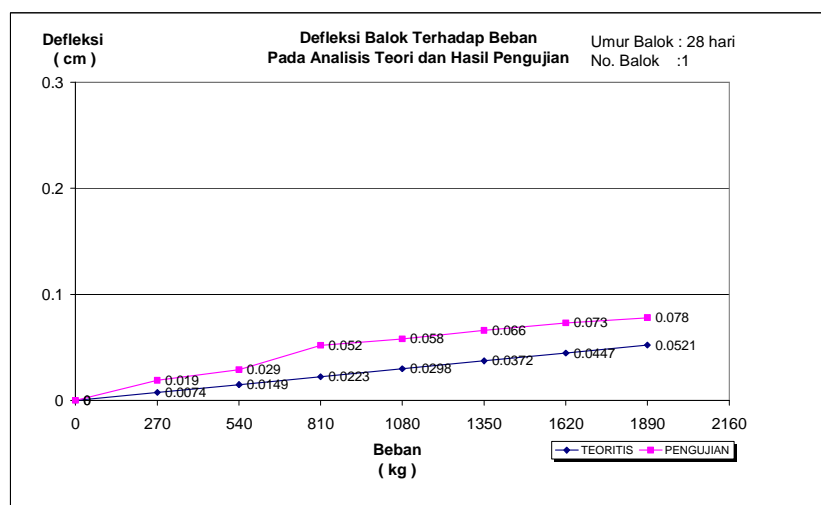
Gambar 14. Grafik Perbandingan defleksi balok komposit umur 21 hari Balok ke-1



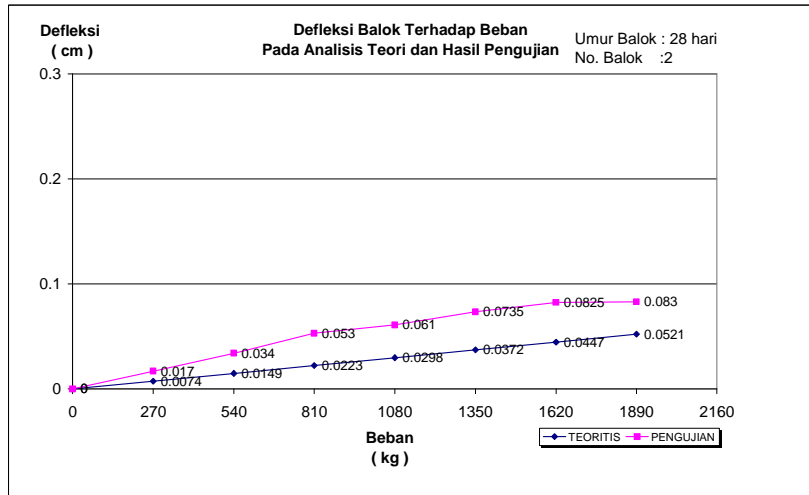
Gambar 15. Grafik Perbandingan defleksi balok komposit umur 21 hari Balok ke-2



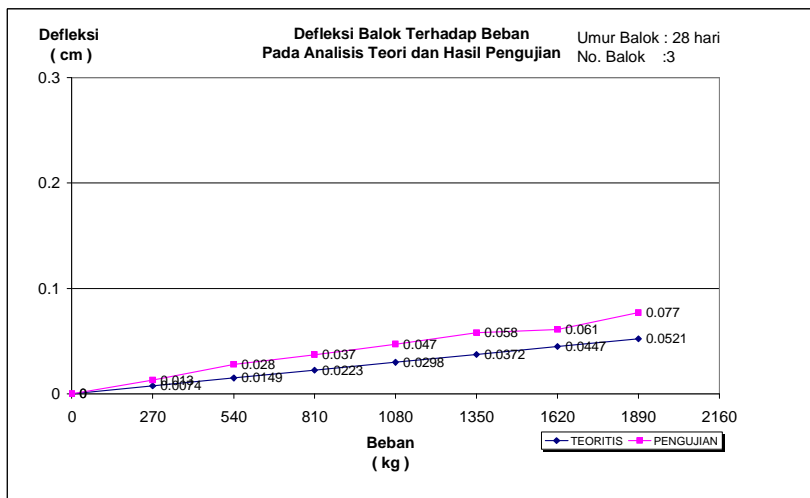
Gambar 16. Grafik Perbandingan defleksi balok komposit umur 21 hari Balok ke-3



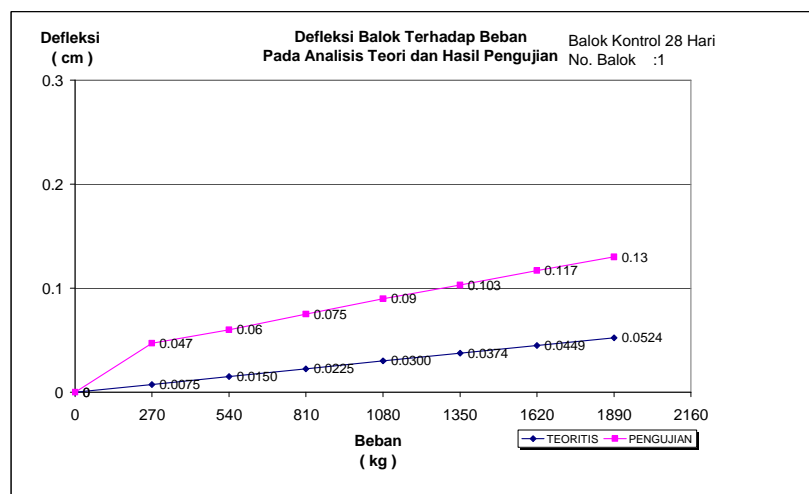
Gambar 17. Grafik Perbandingan defleksi balok komposit umur 28 hari Balok ke-1



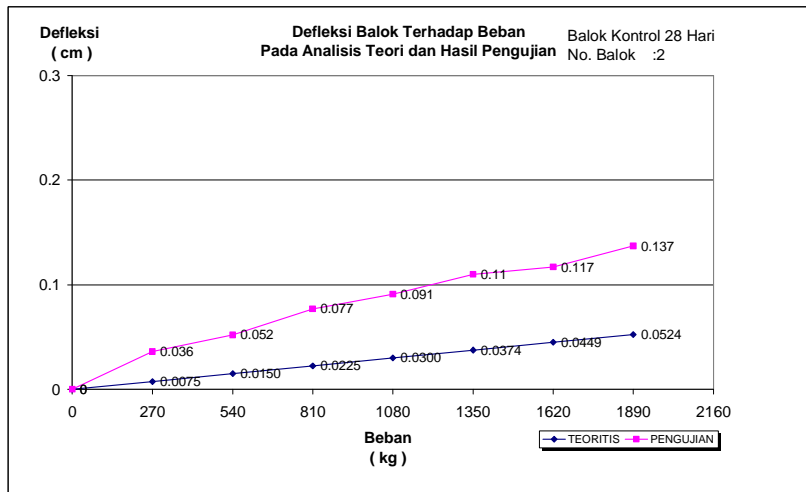
Gambar 18. Grafik Perbandingan defleksi balok komposit umur 28 hari Balok ke-2



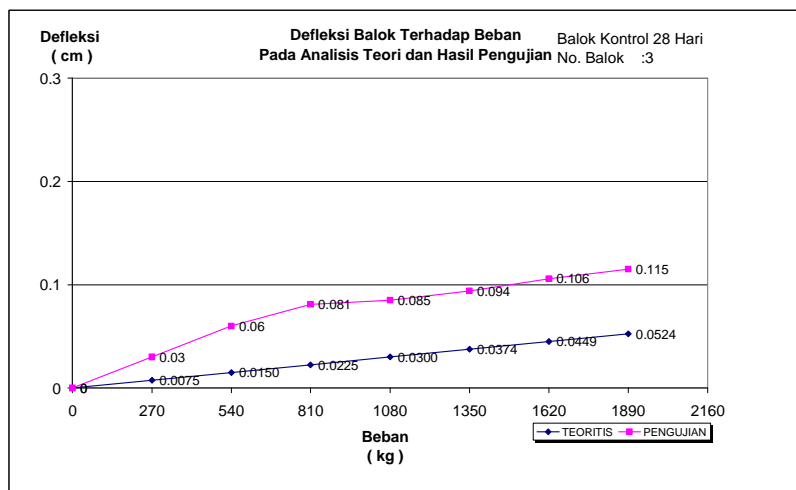
Gambar 19. Grafik Perbandingan defleksi balok komposit umur 28 hari Balok ke-3



Gambar 20. Grafik Perbandingan defleksi balok kontrol umur 28 hari Balok ke-1



Gambar 21. Grafik Perbandingan defleksi balok kontrol umur 28 hari Balok ke-2



Gambar 22. Grafik Perbandingan defleksi balok kontrol umur 28 hari Balok ke-3

Perbandingan antara defleksi hasil perhitungan analisis dengan hasil yang didapat dari pengujian didapatkan hasil perbandingan yang cukup baik seperti pada grafik perbandingan di atas. Defleksi yang didapatkan dari pengujian lebih besar dari hasil perhitungan analisis dengan perbedaan sekitar 0,05 cm. Hal ini bisa disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain:

1. Pemasangan beton segar pada saat pembuatan balok kurang baik, dikarenakan pemasangan dilakukan dengan cara manual atau tidak menggunakan vibrator.
2. Pada saat pengupasan permukaan beton terjadi penumbukan yang

terlalu keras, sehingga dimungkinkan terjadi perubahan ikatan antar material penyusun beton pada balok tersebut.

3. Nilai modulus elastis baja dari hasil pengujian tidak dapat ditemukan dikarenakan alat uji tarik yang kurang akurat, sehingga pada analisa teoritis digunakan nilai modulus elastisitas baja sebesar $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$. Sehingga dapat mempengaruhi nilai perhitungan defleksi dan mengakibatkan terjadinya perbedaan antara hasil perhitungan teoritis dengan hasil pengujian.

KESIMPULAN

Dari penelitian tentang pengujian beban lentur pada balok komposit beton-beton variasi umur total 17 hari, 21 hari, dan 28 hari serta pada balok kontrol yang berupa balok monolit pada umur beton 28 hari. Dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Kuat tekan beton sebesar 200 kg/cm^2 dapat dipenuhi oleh benda uji. Bahkan terjadi peningkatan kuat tekan sebesar $252,889 \text{ kg/cm}^2$.
- Nilai kuat tekan beton dan modulus elastisitas beton seiring dengan penambahan umur dapat disimpulkan mengalami peningkatan.
- Nilai kuat lentur pada penelitian balok lapis komposit beton-beton seiring penambahan umur mengalami kenaikan. Namun pada balok lapis komposit beton-beton pada umur 28 hari sedikit mengalami penurunan nilai dari balok umur 21 hari. Hasil semacam ini bisa disebabkan beberapa sebab seperti
 1. Pematatan pada saat pembuatan benda uji kurang baik
 2. Pada saat pengupasan permukaan beton bawah sempat mengalami penumbukan yang terlalu keras, sehingga mempengaruhi ikatan antara material pembentuk beton.
 3. Hasil pengupasan yang kurang baik, sehingga kekasaran permukaan tiap balok tidak seragam. Sehingga dapat mempengaruhi aksi komposit.
- Defleksi maksimum yang didapat dari hasil penelitian menunjukkan besaran yang fluktuatif. Hasil semacam ini bisa disebabkan oleh beberapa sebab

yang telah diterangkan di atas. Akan tetapi sebab yang paling mempengaruhi perbedaan nilai defleksi maksimum adalah pola keruntuhan balok komposit pada saat pengujian dilaksanakan. Pada saat pengujian dilaksanakan pada beberapa balok uji mengalami keruntuhan tumpuan, yaitu beton yang berada tepat diatas tumpuan mengalami kahancuran sehingga mempengaruhi pembacaan dial defleksi.

- Hasil perbandingan kuat lentur dan defleksi pada hasil pengujian dengan hasil perhitungan teoritis didapatkan perbedaan nilai sekitar 0,05 cm. Hal ini bisa dikarenakan oleh berbagai sebab antara lain data-data hasil pengujian yang dipakai pada perhitungan teoritis tidak berhasil didapatkan. Data tersebut adalah nilai modulus elastisitas baja pada pengujian gagal ditentukan, sehingga harus menggunakan modulus elastisitas teoritis sebesar $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$. Karena faktor inilah yang diduga mengakibatkan terjadinya hasil perbandingan nilai defleksi antara pengujian dengan perhitungan teoritis.
- Terjadi aksi komposit pada semua balok lapis komposit beton-beton. Hal ini dikarenakan pada saat pembebanan balok sampai balok runtuh tidak ada satupun balok lapis komposit beton-beton yang mengalami slip atau pergeser horisontal antara pertemuan kedua lapis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Laboratorium Bahan Konstruksi, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang sebagai tempat

pelaksanaan penelitian serta semua pihak atas dukungan dan partisipasinya selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2002. SNI 03-2847-2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung, Departemen Pekerjaan Umum
- Chu-Kia Wang, Charles G. Salmon. 1986, *Desain Beton Bertulang Jilid I*, Jakarta. Erlangga.
- Dipohusodo, Istimawan. 1990, *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta. Gramedia Pustaka Utama
- G. Nawy, Edward, 1990, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung, Eresco.
- Mosley, W. H dan Bungle, J. H. 1989, *Perencanaan Beton Bertulang*. Jakarta. Erlangga.
- Phil M. Ferguson, 1986, *Dasar-dasar Beton Bertulang*. Jakarta. Erlangga