Kecepatan Runtuh Balok Beton Bertulang oleh Temperature Tinggi dalam Variasi Mutu Beton

B.Army [1)], Syaiful Amri [2)], Jajang Atmaja [3)]

[1), 2), 3)] Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Padang Kampus Unand Limau Manis Padang

INTISARI

Kombinasi beban statik dan temperatur tinggi mempercepat terjadinya keruntuhan struktur beton yang sedang terbakar, kecepatan runtuh ditentukan oleh besarnya beban yang bekerja, temperatur dan durasi kebakaran serta mutu beton

Specimen adalah balok beton bertulang dimensi 100x150 x1000 mm. jumlahnya 8 balok. Masing-masing balok diberi satu tulangan tarik D=12mm, tulangan tarik tersebut dibubut dibagian tengahnya sepanjang 10 cm hingga diameter 8 mm, tujuan agar memberikan konsentrasi tegangan.

Pengujian specimen dibagi 2 yaitu: 2 balok diuji pada temperatur ruang untuk mendapatkan P_{cr} sebagai beban bagi 6 balok yang diuji pada temperatur tinggi. Untuk melihat kecepatan runtuh balok pada pengujian temperatur tinggi, digunakan tiga variasi pembebanan yaitu: 100% P_{cr}, 80% P_{cr} dan 60% P_{cr}, sedangkan selimut beton (concrete cover) (d'): d'=20 mm

Pelaksanaan pengujian balok pada temperatur tinggi, balok dibakar dalam furnace untuk mutu 20 MPa sambil dibebani: 100%Pcr, 80%Pcr, dan 60%Pcr langsung direkam datalogger data-data lama pembebanan, perubahan suhu, defleksi Demikian juga untuk mutu beton fc=45 MPa.

Hasil pengujian balok pada temperatur tinggi menunjukan bahwa: semakin besar beban P_{cr} yang bekerja maka kecepatan runtuh balok beton bertulang semakin tinggi. Semakin tinggi mutu beton maka kecepatan runtuhnya juga semakin tinggi. Sebanyak 2 balok beton bertulang diuji pada suhu ruang memberikan P_{cr} masing masing sebagai berikut: untuk mutu beton fc=20 MPa dan dengan cover beton 20cm maka P_{cr}= 824 kg kondisi crack, dan Pcr'=2870 MPa kondisi ultimate, Untuk mutu beton fc'=45 MPa dan dengan cover beton 20mm maka Pcr=1394 MPa kondisi crack, dan Pcr=3164 MPa kondisi ultimate

Kata kunci: Beban temperatur, kecepatan runtuh, mutu beton

A. LATAR BELAKANG

Beton mutu tinggi sangat rentan terhadap temperatur tinggi, beberapa peneliti sudah banyak mengungkapnya, umumnya temperatur tinggi mengurangi kekakuan, modulus elastisitas, kapasitas beton

Crozier (1998), beton mutu tinggi mempunyai daya tahan lebih rendah terhadap suhu tinggi, kuat tekan beton pada suhu 400 ^{0}C, 600 ^{0}C dan 800 ^{0}C berkurang 35%, 60% dan 80%. Kapasitas lentur balok berkurang pada suhu diatas 650 ^{0}C . Triwiyono (2001), menyatakan pada suhu (700-900) ^{0}C terjadi proses kalsinasi pada

beton yaitu $CaCO_3$ menjadi CaCO dan CO_2 yang mengakibatkan retak sehingga kuat tekan beton tinggal ± 10%-20% dan tegangan leleh baja turun pada suhu 500 ^{0}C turun menjadi 50%. Surahman (1998), tebal selimut dan durasi kebakaran mempengaruhi suhu mencapai tulangan. Priyosulistyo (2000), beton mutu tinggi menunjukan perilaku kurang baik oleh pengaruh panas, semakin *impermeable* beton semakin mudah terjadi pengelupasan oleh panas karena uap air tidak mudah mengalir melalui pori kedalam daerah yang lebih dingin. Anwar (2000), perubahan modulus elastisitas tiap *centimeter* kedalaman core case balok beton bertulang temperatur 200 ^{0}C, 400 ^{0}C, 600 ^{0}C dan 800 ^{0}C sebesar 97%, 90%, 74% dan 65%. Nielson (2002), kekakuan dan kapasitas balok menurun sejalan dengan kenaikan temperatur.

Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan saat balok beton sedang dibakar. Penbebanan mengkombinasikan beban statik dan beban temperatur Hasil yang ingin dicapai adalah bagaimana pengaruh variasi selimut, variasi beban dan variasi mutu beton terhadap kecepatan runtuh balok beton bertulangan tarik.

B. TUJUAN PENELITIAN

1. Mengetahui pengaruh beban lateral 100% P_{cr}, 80% P_{cr}, dan 60% P_{cr}, pada kecepatan runtuh lentur balok beton bertulang pada temperatur tinggi
2. Mengetahui pengaruh mutu beton f_c'=20 MPa, f_c'=45 MPa terhadap kecepatan runtuh balok beton bertulang pada temperatur tinggi

C. METODE PENELITIAN

I. Bahan dan Alat

Bahan: air, semen, pasir , *split*, tulangan D-12mm, *chemical admixture* (*sikament* NN jenis superplastisizer)

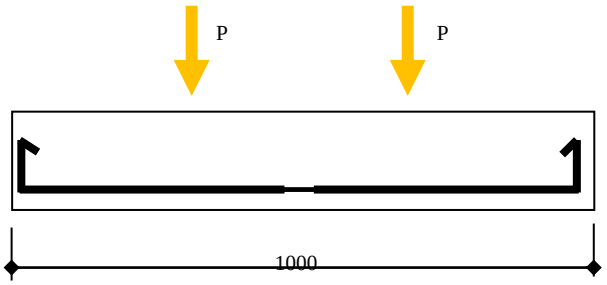
Alat: peralatan pembetonan, cetakan *specimen* (100x150x1000) mm, mesin uji tekan beton, *thermocouple, LVDT, burner, data logger, furnace* dan mesin uji lentur

II. Jumlah dan ukuran *specimen*

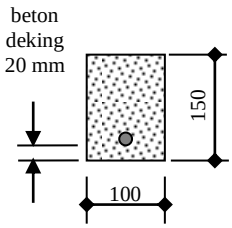
Ukuran balok beton *specimen*: 100x150x1000 mm (Gb.1dan Gb.2), tiap balok dengan satu tulangan tarik D-12 dibagian tengah dibubut sepanjang 100mm dengan diameter 8 mm, Variasi *specimen*, jumlah dan spesifikasinya lihat Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah *specimen* dan spesifikasinya

f_c' (MPa)	Tebal selimut (mm)	Pembebanan		Jumlah (buah)	Keterangan
		Jenis	% Pcr		
20	20	lentur	100, 80, 60	3	bakar
45	20	lentur	100, 80, 60	3	bakar
20	20	lentur	-	1	referensi
45	20	lentur	-	1	referensi



Gb. 1. *Specimen*



Gb. 2. Pot X-X

III. Persiapan Pengujian

1. Tahap persiapan dan pemeriksaan bahan

Baja tulangan: Tulangan utama *specimen* panjang 1260 mm sebanyak 8 potong,

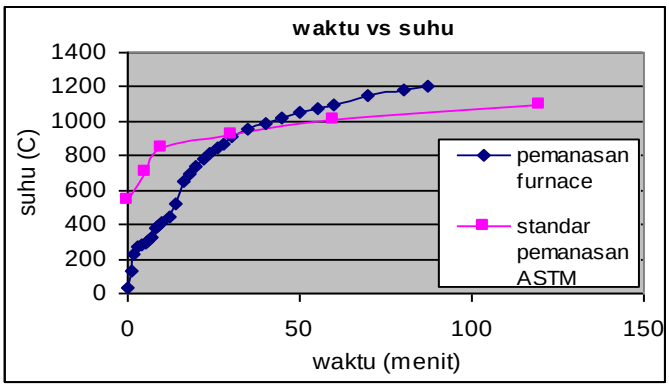
bagian tengahnya dibubut hingga diameternya 8 mm sepanjang 100 mm,

tujuan agar tegangan yang terjadi terkonsentrasi pada daerah tersebut.

Agregat kasar: Pengujian meliputi: modulus halus, keausan, berat jenis, berat isi..

Agregat halus: Pengujian meliputi antara lain: berat jenis, gradasi, modulus halus.

Furnace: Pemanasan perdana dengan dua burner dicapai suhu 800^0 C pada menit ke-22 dan suhu 1200^0 C pada menit ke-87. Hasil pengamatan pemanasan *furnace* dan standar pemanasan ASTM Gb. 3



Gb.3. Pemanasan *furnace* dan standar pemanasan

2. Tahap pembuatan benda uji

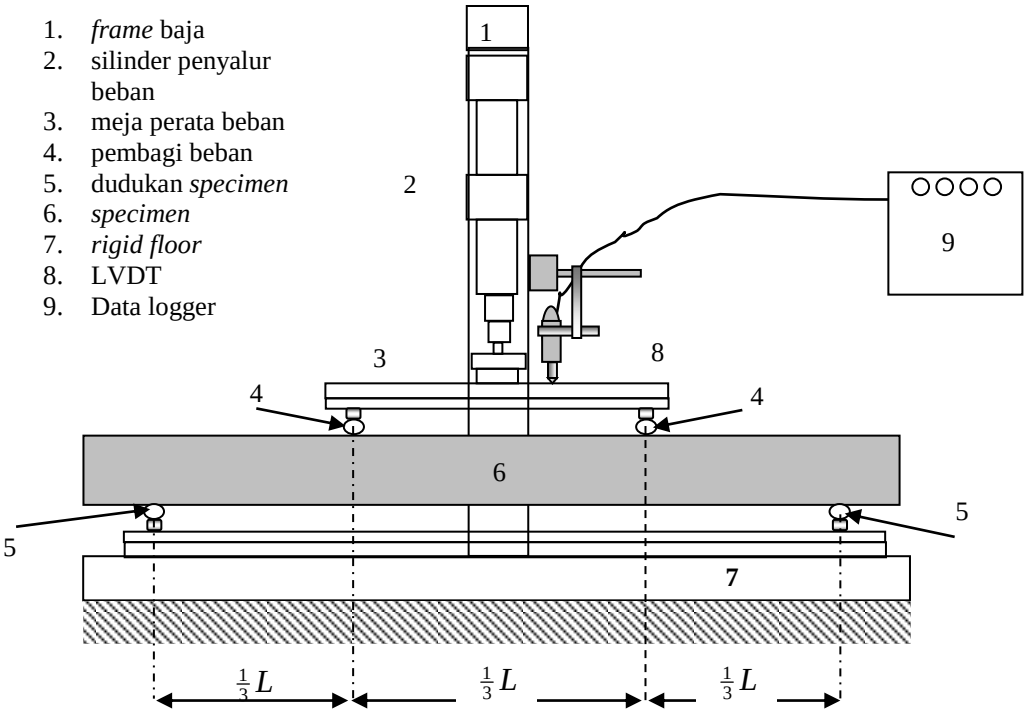
Perencanaan campuran beton (*mix design*): sesuai dengan Tabel 2

Tabel 2. Persamaaan campuran beton

Mutu Beton	Air	Semen	Pasir	Kerikil	*Sikament*	f.a.s
MPa ($1m^3$)	kg	kg	kg	kg	kg	
20	175	365	644	1196	-	0.54
45	147	426	556	1298	5.325	0.35

3. Tahap pengujian

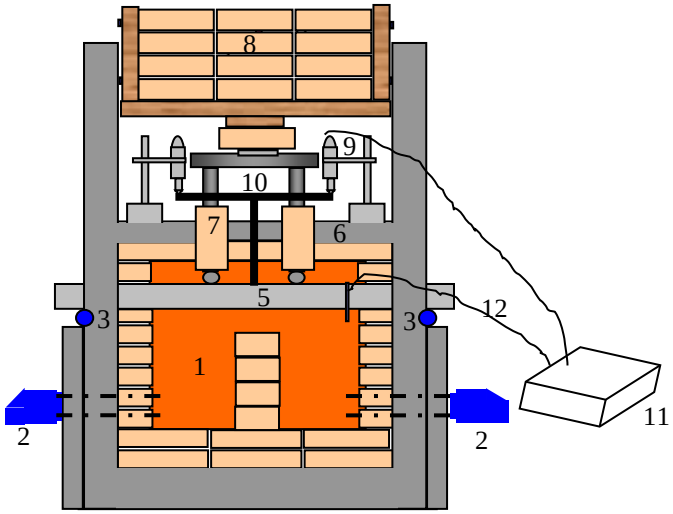
Tahap I: **Pengujian balok pada suhu ruang**: Balok yang diuji pada suhu ruang sesuai Tabel 1 ditandai dengan keterangan referensi, pengujian menghasilkan beban P_{cr} yang dijadikan beban statik balok pada pengujian bakar, dengan variasi beban 100%, 80% dan 60% dari P_{cr} seperti dalam Tabel 1 ditandai dengan keterangan bakar. *Setting up* pengujian balok suhu ruang pada Gb. 4.



Gb. 4. *Setting up* pengujian balok pada suhu ruang

Tahap II. Pengujian balok pada temperatur tinggi Balok *specimen* dimasukan dalam ruang bakar (furnace), kedua ujungnya pada sendi dan *roll*, pengantar pembaca defleksi ditempatkan pada posisi hingga ujungnya menyentuh balok, penyalur beban diturunkan hingga terletak diatas balok, atur posisi keranjang beban diatas penyalur beban, tata batubata dalam keranjang beban sesuai $\%P_{cr}$ yang ditentukan, pasang LVDT pada ujung pengantar pembaca defleksi, dan hubungkan kabelnya ke data logger, masukan ujung kabel *thermocouple* kedalam ruang bakar dan ujung yang lain hubungkan dengan data logger, pasangkan *noise burner* pada lobang *furnace* (selang bahan bakarnya dimasukan dalam solar), hubungkan kabel *power data logger* sumber daya, kemudian *data logger* di-set agar dapat membaca defleksi dan suhu pembakaran, langkah terakhir hubungkan kabel *power burner* pada sumber daya dan bersamaan itu maka pengujian balok sudah dimulai.*Output* pengujian adalah: defleksi, suhu dan waktu. *Setting up* pengujian pada Gb. 5.

keterangan:
1.*furnace*,
2. *burner*,
3. sendi dan rol
4. specimen
5. tutup *furnace*
6. penyalur beban
7. beban statik
8. LVDT
9. pengantar pembaca defleksi
10 *data logger*
11*thermocouple*



Gb. 5. *Setting Up* pengujian balok temperatur tinggi

D. ANALISIS DATA

1. Uji tekan beton

Data hasil pengujian silinder adalah besar beban dan perpendekan silinder yang diolah menjadi tegangan dan regangan kemudian digambarkan agar dapat terbaca prilaku tegangan dan regangan beton serta modulus elastisitas beton.

2. Kecepatan runtuh balok

Kecepatan runtuh balok pada temperatur tinggi didekati dengan “gerak lurus beraturan”

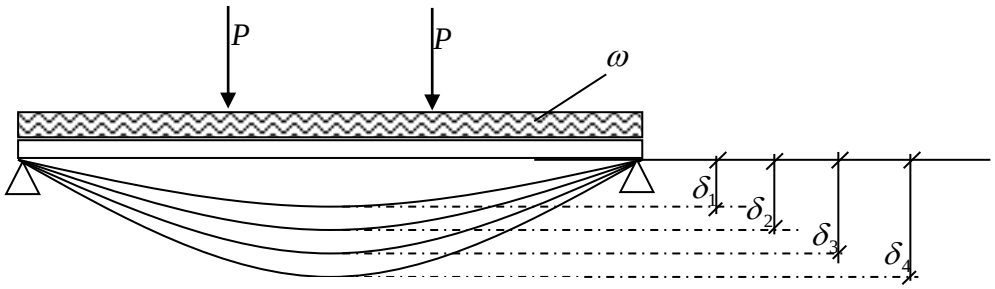
$$V_t = \frac{\delta}{t}$$

dimana: V_t = kecepatan runtuh balok (mm/det),

δ = kedalaman defleksi (mm)

t = waktu (det)

Karena pembebanan maka sumbu balok yang sebelumnya lurus, selama pembebanan akan melendut atau terdeformasi. Bergesernya sumbu balok dari kedudukan semula dihitung sebagai jarak atau kedalaman defleksi Gb. 6.



Gb. 6: defleksi balok

E. HASIL DAN PEMBAHASAN

a.Agregat Halus dan Agregat Kasar

Agregat halus: modulus halus pasir 2.848 %, kadar air 1.687%, berat jenis 2.73 gr/cc. penyerapan 2.075 %, kandungan lumpur 0.85 %, berat satuan volume 1.61 t/m^3

Agregat kasar: modulus halus Batu pecah 6.59 %, kadar lumpur 0.115 %, berat satuan volume 1.47 %, gradasi termasuk zone II, butiran maksimum 20 mm , berat jenis 2.671 gr/cc, penyerapan air 1.72 % dan nilai keausan 20.4 %

b.B e t o n

Uji tekan silinder beton mutu rencana f_c'=20 MPa umur 35 hari kuat tekan adalah 34.38 MPa, modulus elastisitas 27558.2 MPa dengan berat jenis 2.387 t/m^3. Mutu beton rencana f_c'=45 MPa kuat tekan umur 28 hari adalah 56.87 MPa modulus elastisitas 3443.73 MPa dengan berat jenis 2.434 t/m^3.

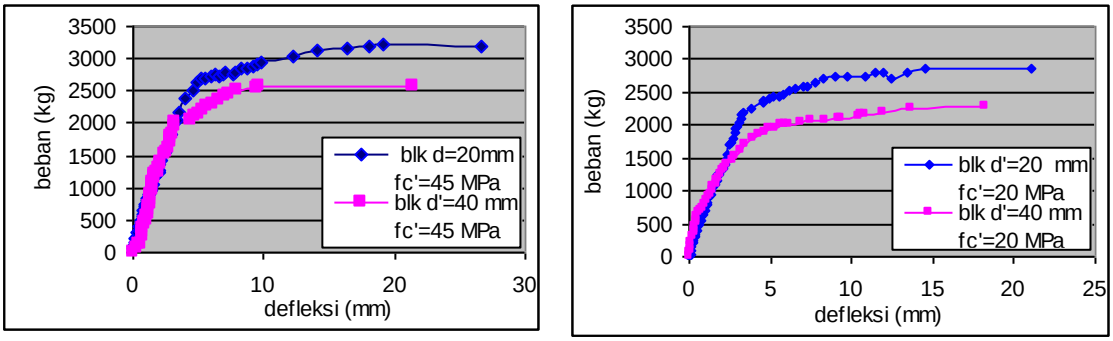
c. Pengujian Lentur Balok Suhu Ruang

Pengujian dilakukan dengan dua beban terpusat yang diletakan pada 1/3 panjang bentang dari perletakan hasilnya pada Tabel 3

Tabel 3. Pengujian balok pada suhu ruang

f_c' (MPa)	d' (mm)	Beban (kg)			
		Crack			Ultimit
		100%	80%	60%	
45	20	1394	1115.2	836.4	3164
20	20	824	659	494	2870

Dari Tabel 5 perbedaan P_{cr} pada mutu beton f_c'=45 MPa dengan selimut beton 20mm dan 40mm adalah 12.69%, sedangkan perbedaan P_{ult} nya adalah 22.40%. Juga perbedaan P_{cr} pada mutu beton f_c'=20 MPa dengan selimut beton 20 mm dan 40 mm adalah 12.87%, sedangkan perbedaan P_{ult}nya adalah 25.43%. Selimut beton sangat berpengaruh terhadap besarnya P_{crack} dan $P_{ult.}$ Semakin tebal selimut beton maka semakin kecil P_{crack} dan P_{ult}. Gb 7 adalah grafik hasil pengujian balok pada suhu ruang, dapat



Gb. 7. Kurva beban dan defleksi balok f_c='45 MPa dan f_c=20 MPa

dikemukakan analisis bahwa kecepatan runtuh balok pada saat leleh terjadi pada posisi transisi grafik dari linear menjadi lengkung, kecepatan runtuh balok pada saat leleh disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Kecepatan runtuh balok saat kelelehan suhu ruang

fc'	d'	Kelelehan			
		Beban	defleksi	waktu	kecpt runtuh
(MPa)	(mm)	(kg)	(mm)	(det)	(mm/det)
20	20	2250	3.85	529	0.0073
45	20	2640	4.93	723	0.0068

d. Pengujian Lentur Balok pada Temperatur Tinggi

1. Suhu pembakaran benda uji

Dari Tabel 5 terlihat bahwa rata-rata suhu balok sampai defleksi 16 mm diatas 1100^{0}C tapi ada satu balok yang suhunya dibawah 1000 ^{0}C, karena pembakaran berlangsung burnernya macet sehingga semburan api tidak sempurna, juga pengaruh dari angin yang bertiup sangat kencang

Tabel 5. defleksi, suhu dan kecepatan runtuh balok bakar

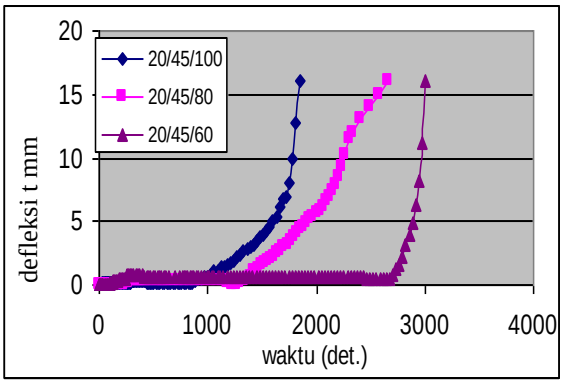
No	Balok	Awal defleksi per manen		Sampai defleksi 16 mm		
		Suhu	Waktu	Suhu	Waktu	Kecpt. Runtuh
		(C)	(det)	(C)	(det)	(mm/det)
1	20/45/100	1152	996	1261.7	1844	0.008677
2	20/45/80	1187	1340	1331.5	2660	0.006015
3	20/45/60	1153	2705	1185.8	3000	0.005333
4	20/20/100	1236	1500	1195.6	2633	0.006077
5	20/20/80	1141	2076	1303.4	2850	0.005614
6	20/20/60	920	2430	926.2	3967	0.004033

Catatan: inisial balok 20/45/100: Selimut,d'=20mm,mutu beton,f_c'=45MPa, beban 100% P_{cr}

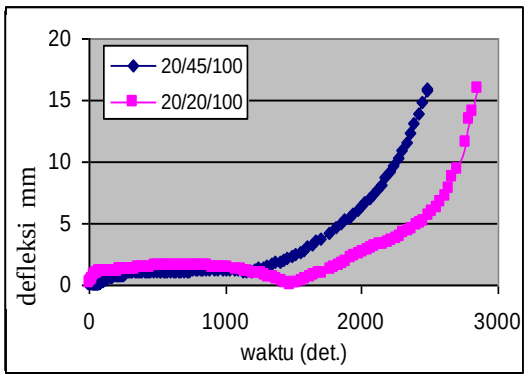
2. Defleksi dan lama pembakaran balok

Lama pembakaran balok untuk 6 balok yang dibakar diberikan patokan sampai terbentuknya defleksi sebesar 16 mm, beberapa hal kesimpulan diberikan dibawah ini

a. Selimut dan mutu beton yang sama tapi beban berbeda, maka pada beban yang besar defleksi akan lebih cepat terbentuk.Gb. 8
b. Selimut beton dan beban yang sama sedangkan mutu beton berbeda, maka defleksi akan cepat terbentuk pada beton mutu tinggi. Gb. 9



Gb.8. Hubungan waktu dan defleksi terhadap selimut &mutu beton sama tapi beban beda



Gb.9. Hubungan waktu dan defleksi selimut beton dan beban sama namun mutu beton berbeda

3. **Kecepatan runtuh balok temperature tinggi.**

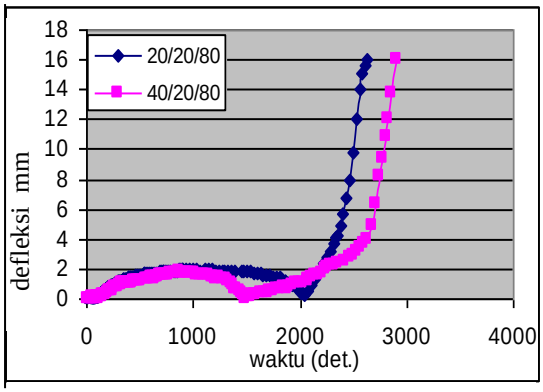
a. Kecepatan runtuh balok untuk selimut dan mutu sama tapi beban beda

Dari Tabel 6. kecepatan runtuh balok 20/45/60 adalah 0.005333 mm/det sedangkan

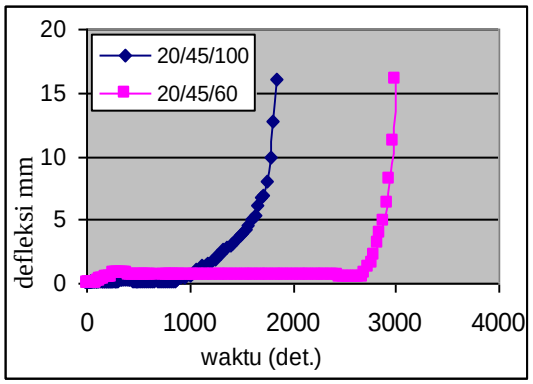
balok 20/45/100 adalah 0.008677 mm/det, dari grafik juga dapat disimpulkan bahwa balok 20/45/100 mempunyai waktu yang cukup pendek (1844 detik) untuk mencapai lendutan permanent. Sedangkan balok 20/45/60 mempunyai waktu lama (3000 detik) untuk mencapai lendutan 16 mm. Dari uraian diatas dapat disimpulkan:

Balok 20/45/100 menggunakan seluruhnya energi (panas) yang diterimanya untuk membentuk defleksi sehingga mempunyai waktu yang pendek (1844 detik) untuk mencapai defleksi 16 mm

Balok 20/45/60 menyerap energi (panas) sampai detik ke 2675 setelah itu membentuk lendutan. Dalam waktu 325 detik telah tercapai lendutan 16 mm



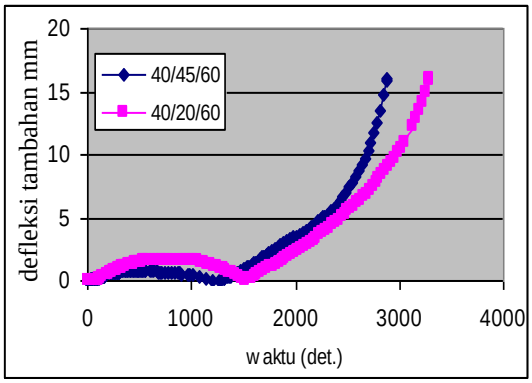
Gb.9. Hubungan waktu dan defleksi



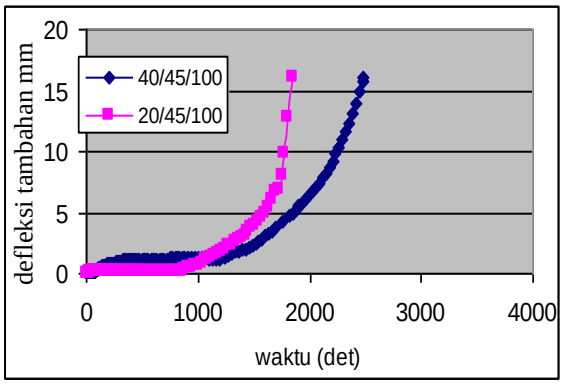
Gb.10. Hubungan waktu dan defleksi

b. Kecepatan runtuh balok untuk selimut dan beban sama tapi mutu beda

Dari Gambar11 hubungan waktu dan defleksi terlihat bahwa beton dengan mutu tinggi (45 MPa) punya waktu yang relatif sedikit untuk mencapai defleksi 16mm. dibandingkan dengan beton dengan mutu sedang (20 MPa), karena beton mutu tinggi bersifat lebih getas (*brittle*). Kecepatan runtuh balok 40/45/60 adalah 0.005556 mm/det) sedangkan balok 40/20/60 adalah 0.009738 mm/det, ternyata balok mutu tinggi lebih cepat runtuhnya pada temperatur tinggi dari pada balok mutu rendah.



Gb. 11. Hubungan waktu dan defleksi



Gb. 12. Hubunngan waktu dan defleksi

c. Kecepatan runtuh balok untuk mutu dan beban sama tapi selimut beda

Balok 20/45/100 kecepatan runtuhnya 0.008677 mm/det sedangkan balok 40/45/100 adalah 0.006452 mm/det). Ternyata kecepatan runtuh lebih cepat pada selimut beton yang lebih tipis (d'=20mm) karena pada selimut beton yang lebih tebal, tulangan akan cukup baik terlindungi dari panas dan akan melelehnya lebih lama Perhatiakan Gambar 12. Kecepatan runtuh untuk 12 balok pengujian temperatur tinggi disajikan pada Tabel 6.

KESIMPULAN DAN SARAN

a.Kesimpulan

Dari hasil pengujian 6 balok temperatur tinggi disimpulkan sebagai berikut:

Kecepatan runtuh balok temperatur tinggi

1. Balok dengan selimut beton dan mutu sama tapi beban beda, maka kecepatan runtuh akan lebih cepat balok dengan beban besar.
2. Balok dengan selimut beton dan beban sama tapi mutu beda, maka balok dengan mutu tinggi kecepatan runtuhnya lebih tinggi.
3. Balok dengan mutu dan beban sama tapi selimut beton beda, maka balok dengan selimut tipis akan mempunyai kecepatan runtuh yang lebih tinggi

b.S a r a n

Ada beberapa hal perlu penulis sarankan diantaranya adalah

1. Perlu penelitian lebih lanjut terhadap kurva defleksi balok pada pengujian temperatur tinggi
2. Pengantar pembaca lendutan: sebaiknya besi diganti dengan bahan yang muai kecil seperti bahan bata tahan api

DAFTAR PUSTAKA

Anwar, S.N.R., 2000, *Analisis Material Beton Pascabakar*, Thesis Program Pascasarjana UGM

Crozier, A.D, and Sanjayan GJ,1997, Chemical and Physical Degradation of Concrete at Elevated Temperatures, Concrete in Australia Journal, July, pp.18-20

Nielson, CV., 2002, *High Temperature Effects on Tensile Softening Behavior of Cond ccrete Symposium* on Nordic Concrete Research, Helsingr

Priyosulistyo,H., Sumadi P.C., dan Sudarmoko, 1998, *Pengaruh Variasi ASP dan Nilai Banding Air / (semen+ ASP) Pada Mutu Beton*, Prosiding Seminar Nasional Mekanika Bahan Menyongsong Tahun 2000, PAU UGM. Yogyakarta

Surahman, A., 1998, *Studi Kasus Lapangan*, Laboratorum Mekanika Struktur Pusat Penelitian Antar Universitas Ilmu Rekayasa ITB, Bandung

Triwiyono, A., 2001, *Perbaikan dan Perkuatan Struktur Beton*, Bahan Ajar Program Pascasarjana Teknik Sipil UGM, Yogyakata