

# **PENGARUH FIREPROOFING PADA PERILAKU PELAT BETON NORMAL DENGAN TULANGAN MUTU TINGGI**

*The Effect of Fireproofing on the Behavior of Reinforced Concrete Slabs Using High Strength Steel Wire*

**Busroni, L.<sup>1</sup>, Priyosulistyo, Hrc.<sup>2</sup>, Triwiyono, A.<sup>2</sup>**

Program Studi Teknik Sipil Struktur  
Program Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada

## **ABSTRACT**

Reinforced concrete slabs using high strength steel wire could be unsatisfying under high temperature due to the larger surface area of exposed concrete in comparison to other structural elements. One of several efforts on delaying heat transfer is done by applying extra cover to the concrete surface using fireproofing material. On that way, it is important to study the physical properties, such as strength behavior and heat transfer resistant of fireproofing material in order to comply with the code of practice.

Nine specimens of reinforced concrete slab were designed and arranged. Each sample had dimension of 120 cm x 60 cm x 6 cm (length x breadth x thick), a compressive strength of 26 MPa, with the steel wire reinforcement of 39 mm diameter and the yield stress of 600 MPa. The concrete cover varied in four types, e.i: the standard 10 mm concrete cover, 20 mm concrete cover, 10 mm concrete cover+10 mm plaster, and 10 mm concrete cover+10 mm fabricated fireproofing. The standard heat curve of ASTM E-119 for 2 hours was adopted.

The test results showed that the temperature distribution could be expressed as an exponential curve, which went down and became asymptotic with the depth of the concrete. The specimens, which was exposed to fire for 30 minutes with maximum temperature of 716°C, resulted in the deflection of 137% bigger than the maximum limit (L/360). The flexural strength and the compressive strength of concrete decreased to

<sup>1</sup> Ngale, Paron, Ngawi, Jawa Timur

<sup>2</sup> Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

92% and 79,5%, respectively, while the yield stress of reinforcing wire decreased to 91%. Crack pattern about the flexural load continued the previous crack during fire expose. The addition of concrete cover reduced further the temperature and the deflection to 40% and 45% respectively. The standard concrete cover with addition of plaster reduced further the temperature and the deflection to 47% and 36% respectively but increased the flexural strength after fire expose up to 106%. The standard concrete cover with addition of fabricated fireproofing reduced further the temperature and the deflection to 65% and 92% respectively but increased the flexural strength after fire expose up to 104%. It could be concluded that the concrete cover with addition of fabricated fireproofing material will be the most effective effort on delaying heat transfer on the slab.

**Keywords :** *fireproofing, concrete cover, exposed concrete, heat transfer.*

## PENGANTAR

Teknik pembuatan beton bertulang terutama pelat telah mengalami perkembangan yang pesat, di antaranya penggunaan *wire mesh* sebagai tulangan, yaitu baja mutu tinggi yang dihasilkan dari sistem penarikan dingin sehingga kuat lelehnya meningkat (mencapai 500 MPa). Struktur pelat beton mempunyai karakteristik khusus jika mengalami kebakaran, karena memiliki bidang kontak panas api yang luas sehingga menjadi tidak mampu mendukung beban rencana. Antisipasi yang dapat dilakukan, antara lain penggunaan lapisan *fireproofing* pada *exposed surface* untuk mengurangi rambatan panas, sehingga beton dan tulangan masih bisa menahan beban rencana dan struktur dapat dimanfaatkan kembali tanpa perbaikan yang memerlukan banyak biaya.

Pemahaman yang baik tentang kekuatan, perilaku, respon dan pola keruntuhan struktur pelat beton dengan tulangan baja mutu tinggi yang mengalami kebakaran dan sesudah kebakaran, serta efektifitas penggunaan *fireproofing*, sangat diperlukan, untuk memperoleh desain yang aman dan ekonomis.

Permukaan beton yang terbakar akan mendistribusikan temperatur ke lapisan bagian dalam beton, tetapi pada ketebalan yang cukup untuk mengisolasi, temperaturnya cenderung tetap. Semakin tebal pelat beton, pada kedalaman dari *exposed surface*, temperaturnya

akan menurun tajam (Malhotra, 1982), tetapi selimut beton yang semakin tebal akan mengakibatkan *spalling* (Priyosulistyo, 2000).

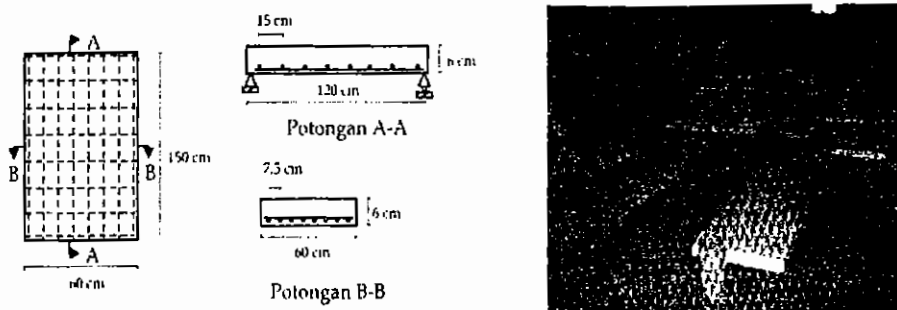
Pada temperatur sekitar 100°C kuat tekan beton mengalami penurunan yang relatif kecil, bahkan pada temperatur sekitar 200°C kuat tekan beton mengalami kenaikan, tetapi kuat tekan beton akan mengalami penurunan drastis pada temperatur diatas 300°C, seiring dengan kenaikan temperatur (Neville, 1975). Nilai modulus elastisitas beton sangat tergantung pada nilai kuat tekan beton, sehingga nilainya juga akan turun drastis akibat peningkatan temperatur (Fintel, 1987).

Kekuatan dan stabilitas baja sangat dipengaruhi oleh temperatur tinggi, meskipun pada kondisi pendinginan kembali, tegangan lelehnya (*yield stress*) hampir pulih kembali, tetapi pada temperatur lebih dari 300°C tegangan leleh baja mulai menurun drastis (Malhotra, 1982) dan pada temperatur 500°C telah menurun sampai 50% (Triwiyono, 2001). Kuat leleh baja dan kuat tarik baja mengalami penurunan dengan bentuk yang hampir sama, sedangkan modulus elastisitas baja mengalami penurunan tajam berbentuk parabolik. Pada temperatur 430°C-540°C merupakan daerah yang laju penurunannya mencapai maksimum (Salmon dan Johnson, 1992).

Suatu struktur beton bertulang yang terbakar, antara baja tulangan dan beton akan berperilaku berbeda, pada temperatur 300°C baja mengalami penurunan kekuatan, sedangkan beton masih dalam kondisi baik. Namun, pada temperatur yang lebih tinggi, kekuatan baja dan beton akan turun drastis, dan pada saat sesudah kebakaran beton tidak dapat kembali pada kekuatan awal (*unrecovered material*), sedangkan baja akan mungkin kembali pada kekuatan awal (*recovered material*).

## CARA PENELITIAN

Benda uji dalam penelitian ini berupa pelat beton normal dengan kuat tekan 26 MPa dan tulangan *wire mesh* berdiameter 3,9mm dan kuat leleh 600 MPa. Ukuran pelat adalah 120 cm x 60 cm x 6 cm dengan variasi bentuk-bentuk *fireproofing* yang dapat dilihat pada gambar 1 dan tabel 1.

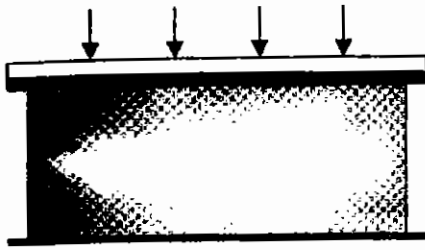


Gambar 1. Benda uji pelat beton

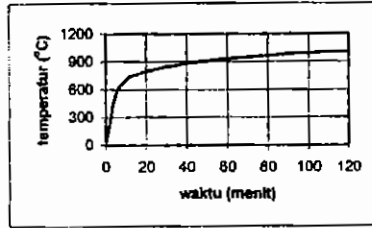
Tabel 1. Jumlah dan spesifikasi benda uji

Benda Uji	Jumlah	Tipe Fireproofing	Perlakuan
LN	1	-	Tidak dibakar
LNB	2	-	Di bakar
LSB	2	Penebalan selimut beton 1 cm + kawat ayam	Di bakar
LPB	2	Plester mortar setebal 1 cm + kawat ayam	Di bakar
LFB	2	Fireproofing pabrikasi setebal 1 cm	Di bakar

Pembakaran benda uji menggunakan kurva pembakaran standar ASTM E-119 dan pengujian saat di bakar dibebani beban rencana tereduksi pada kondisi terbakar sebesar 120 kg (merata). Pengukuran temperatur beton menggunakan *thermocouple* yang di pasang pada *exposed surface*, pada kedalaman 1 cm, dan kedalaman 2 cm dari *exposed surface*. Temperatur beton dicari berdasarkan input dari *thermocouple*, defleksi pelat berdasarkan input dari LVDT, dan besarnya beban berdasarkan input dari *load cell*. Semua input data itu di ubah menjadi pembacaan digital oleh *data logger*.

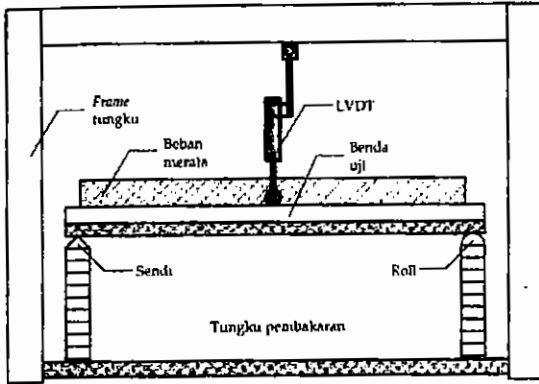


a. Posisi pembakaran benda uji (SKBI : 3.2.53.1987)

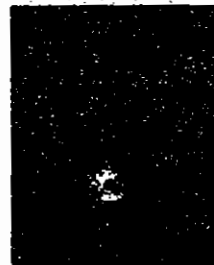
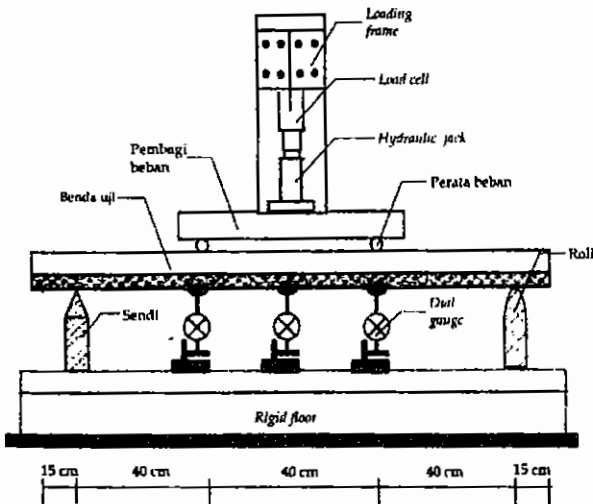


b. Kurva temperatur standar (ASTM E-119)

Gambar 2. Standar pengujian kebakaran



Gambar 3. Set up pengujian pada saat dibakar

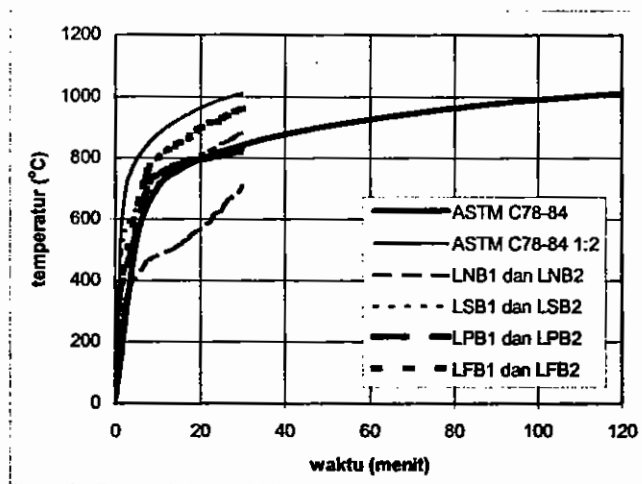


Gambar 4. Set up pengujian sesudah terbakar

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kurva Pembakaran

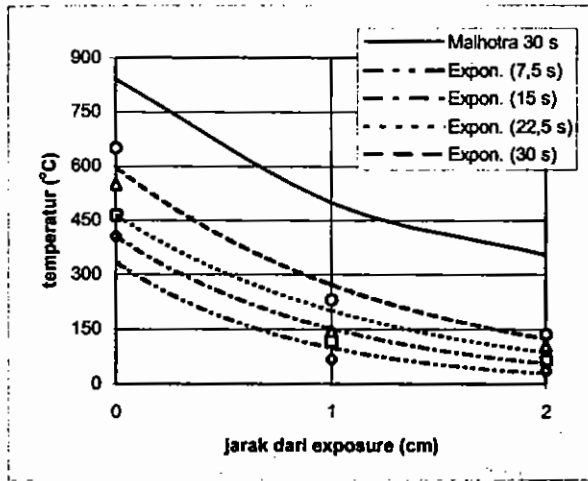
Kurva pembakaran benda uji direncanakan mengikuti kurva standar ASTM E-119 skala 1:2 ketahanan kebakaran 2 jam dengan temperatur maksimum 1010°C. Kurva pembakaran untuk setiap variasi benda uji yang dibandingkan dengan kurva standar ASTM E-119 dan ASTM E-119 skala 1:2 dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Kurva temperatur pembakaran benda uji

### Distribusi Temperatur

Kurva distribusi temperatur satu arah dari *exposed surface* ke bagian dalam beton membentuk garis lengkung *exponential* dengan jarak antara garis lengkung yang semakin menyempit pada lapisan beton yang semakin dalam. Kurva distribusi hasil penelitian yang dibandingkan dengan kurva distribusi Malhotra dapat dilihat pada gambar 6.



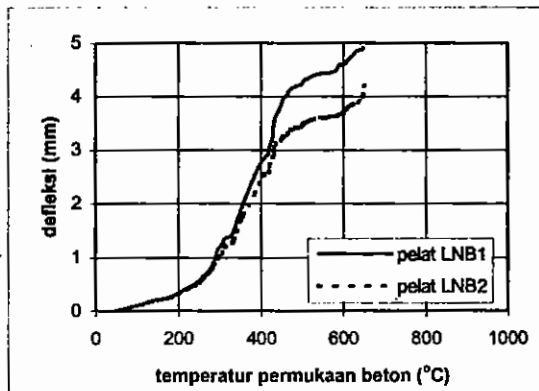
Gambar 6. Kurva distribusi temperatur pada pelat beton hasil pengujian

### Kapasitas Pelat Beton sesudah terbakar

Kapasitas pelat beton yang mengalami kebakaran ditinjau berdasarkan kondisi pada saat mengalami kebakaran dan kondisi sesudah kebakaran.

#### 1. Kondisi pada saat mengalami kebakaran

Defleksi selama kebakaran meningkat cepat pada temperatur kebakaran di atas 300°C. Data selengkapnya dapat dilihat pada gambar 7.

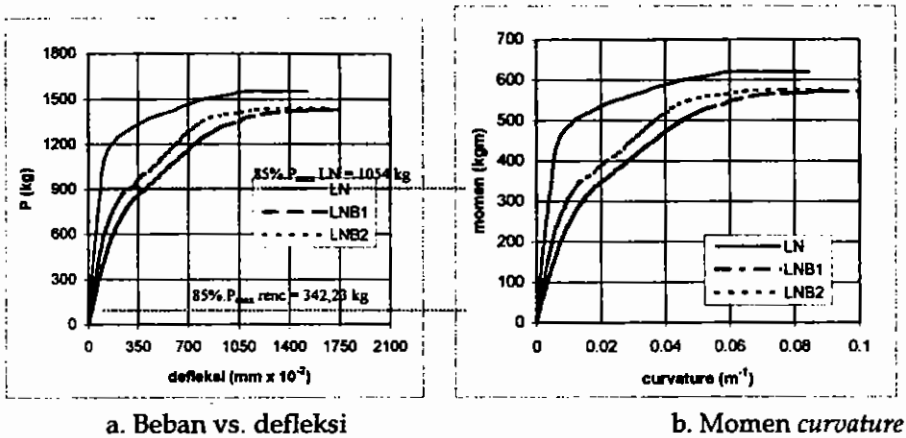


Gambar 7. Kurva defleksi terhadap temperatur permukaan pelat beton dengan lama pembakaran 30 menit

Defleksi pelat pada saat terbakar melebihi batas defleksi  $\frac{L}{360} = \frac{1200}{360} = 3,33$  mm (ACI 318-95 R9.5.2.6), yaitu sebesar 4,21mm (126%) untuk pelat LNB1 dan 4,93mm (148%) untuk pelat LNB2 terhadap defleksi batas.

## 2. Kondisi sesudah kebakaran

Kapasitas lentur pelat beton sesudah terbakar yang dibandingkan dengan pelat beton yang tidak mengalami kebakaran dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Kapasitas lentur pelat beton sesudah terbakar pada temperatur 716 °C selama 30 menit

Dari gambar 8, dapat diketahui  $P_{max}$  untuk pelat beton pembanding sebesar 1550 kg, sedangkan  $P_{max}$  untuk pelat beton sesudah terbakar LNB1 sebesar 1430 kg (92%) dan LNB2 sebesar 1440 kg (93%). Evaluasi kelayakan kekuatan struktur *existing* mensyaratkan bahwa defleksi yang terjadi akibat 85% beban desain (ACI 318-95

20.3.2) harus kurang dari  $\frac{l_t^2}{20.000h}$  sebesar  $120 \text{ mm} \times 10^{-2}$  (ACI 318-95

20.5.2). Nilai  $\Delta_{max}$  pelat beton pembanding dan pelat yang beton sesudah terbakar pada 85% beban desain dan beban hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2.



Tabel 2. Kelayakan pelat beton sesudah terbakar (temperatur 716°C selama 30 menit)

Benda uji pelat	$\Delta$ pada 85%. $P_{max}$ renc ( $mm \times 10^{-2}$ )		$\Delta$ pada 85%. $P_{max}$ LN ( $mm \times 10^{-2}$ )	
Tidak dibakar (LN)	28	memenuhi kelayakan	104	memenuhi kelayakan
Sesudah terbakar (LNB1)	87	memenuhi kelayakan	568	tidak memenuhi kelayakan
Sesudah terbakar (LNB2)	56	memenuhi kelayakan	458	tidak memenuhi kelayakan

Dari hubungan beban dan defleksi proporsional juga dapat diperoleh nilai kekakuan pelat. Penurunan nilai kekakuan pelat sesudah terbakar terhadap pelat yang tidak dibakar dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Kekakuan pelat beton sesudah terbakar (temperatur 716°C selama 30 menit)

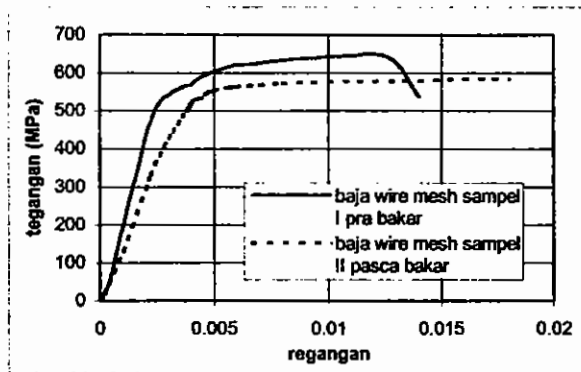
Benda uji pelat	$P_{prop}$ (kg)	$\Delta_{prop}$ (mm)	Kekakuan (kg/mm)	Sisa kekakuan (%)
Tidak dibakar (LN)	1000	0,95	1052,63	
Sesudah terbakar (LNB1)	675	2,11	319,91	30
Sesudah terbakar (LNB2)	600	1,74	344,83	33

### Degradasi Material, Pola Retak, dan Pola Keruntuhan Pelat sesudah terbakar

Material penyusun struktur pelat beton (beton dan baja tulangan), akan mengalami degradasi kekuatan akibat beban temperatur yang meningkat. Kuat tekan *exposed surface* turun menjadi 79,5% dan kuat leleh baja turun menjadi 91%. Pola retak uji lentur sesudah terbakar melanjutkan retak-retak rambut pada saat terbakar dan pola keruntuhannya adalah keruntuhan lentur. Data *hammer test* permukaan pelat terangkum pada tabel 4 dan hasil uji kuat tarik baja sebelum terbakar dan sesudah terbakar pada gambar 9.

**Tabel 4. Degradasi kuat tekan beton sesudah terbakar (temperatur 716°C selama 30 menit)**

Benda uji	Arah pukulan	Jumlah data	Kuat tekan rata-rata pra bakar (MPa)	Kuat tekan rata-rata pasca bakar (MPa)	Sisa kuat tekan (%)
LNB1	Dari atas	15	22,27	19,59	88
LNB2	Dari atas	15	23,33	19,75	85
LSB1	Dari atas	15	22,36	16,54	74
LSB2	Dari atas	15	22,90	16,38	71

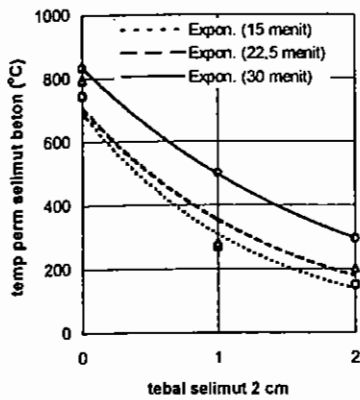


**Gambar 9. Kurva tegangan-regangan baja tulangan *wire mesh* sebelum dan sesudah terbakar (temperatur 716°C selama 30 menit)**

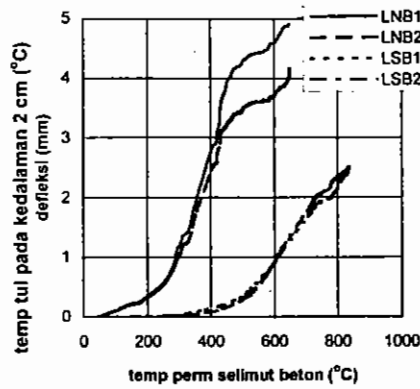
## Efektifitas Penggunaan *Fireproofing*

### 1. *Fireproofing* Pertebal Selimut Beton

Efektifitas *fireproofing* pertebal selimut beton dalam mereduksi temperatur dan defleksi saat kebakaran serta kemampuan dalam mempertahankan kapasitas lentur sesudah terbakar dapat dilihat pada gambar 10 dan gambar 11. Kelayakan pelat dan kekakuan pelat sesudah terbakar dengan *fireproofing* pertebal selimut beton dapat dilihat pada tabel 5 dan tabel 6.



a. Mereduksi temperatur

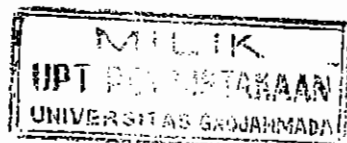


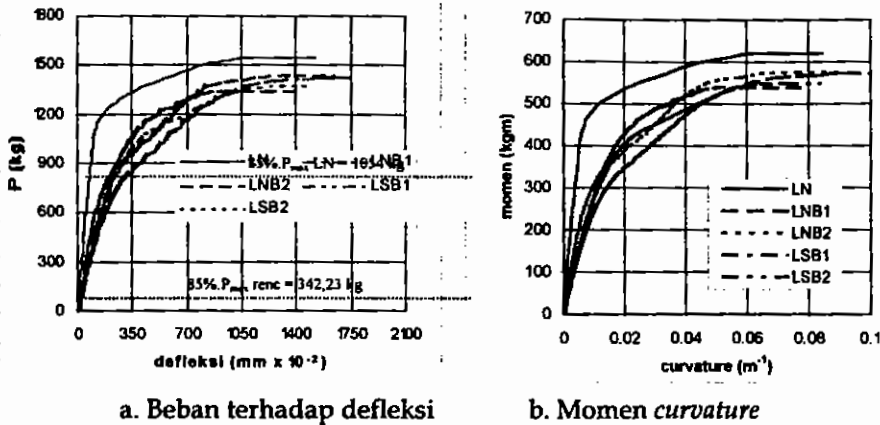
b. Mereduksi defleksi

Gambar 10. Efektifitas fireproofing pertebal selimut beton pada saat kebakaran

Tabel 5. Kelayakan pelat beton sesudah terbakar pertebal selimut beton

Benda uji pelat	$\Delta$ pada 85%. $P_{max}$ renc ( $mm \times 10^{-2}$ )		$\Delta$ pada 85%. $P_{max}$ LN ( $mm \times 10^{-2}$ )	
Tidak dibakar (LN)	28	memenuhi kelayakan	104	memenuhi kelayakan
Sesudah terbakar (LNB1)	87	memenuhi kelayakan	568	tidak memenuhi kelayakan
Sesudah terbakar (LNB2)	56	memenuhi kelayakan	458	tidak memenuhi kelayakan
Sesudah terbakar (LSB1)	76	memenuhi kelayakan	344	tidak memenuhi kelayakan
Sesudah terbakar (LSB2)	78	memenuhi kelayakan	402	tidak memenuhi kelayakan





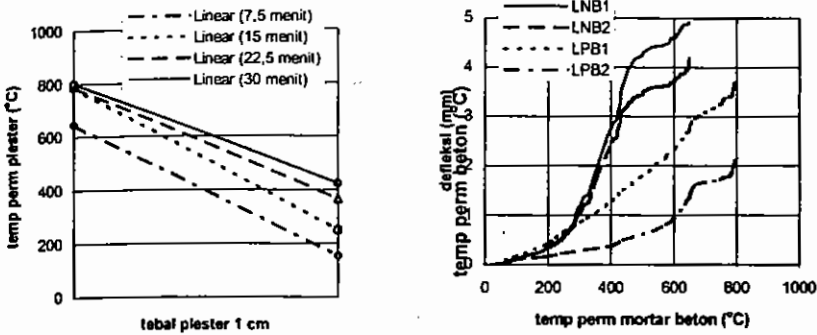
Gambar 11. Efektifitas *fireproofing* pertebal selimut beton dalam mempertahankan kapasitas lentur sesudah kebakaran

Tabel 6. Kekakuan pelat beton sesudah terbakar pertebal selimut beton

Benda uji	P <sub>prop</sub> (kg)	δ <sub>prop</sub> (mm)	Kekakuan (kg/mm)	Sisa kekakuan (%)	
				Terhadap LN	Terhadap LNB1 dan LNB2
LN	1000	0,95	1052,63		
LNB1	675	2,11	319,91	30	
LNB2	600	1,74	344,83	33	
LSB1	775	2,04	379,90	36	114
LSB2	725	1,95	371,79	35	112

## 2. *Fireproofing* Plesteran Beton

Efektifitas plesteran mortar dalam mereduksi temperatur dan defleksi saat kebakaran serta kemampuan mempertahankan kapasitas lentur sesudah kebakaran dilukiskan pada gambar 12 dan gambar 13. Kelayakan pelat dan kekakuan pelat sesudah terbakar dengan *fireproofing* plesteran beton dapat dilihat pada tabel 7 dan tabel 8.



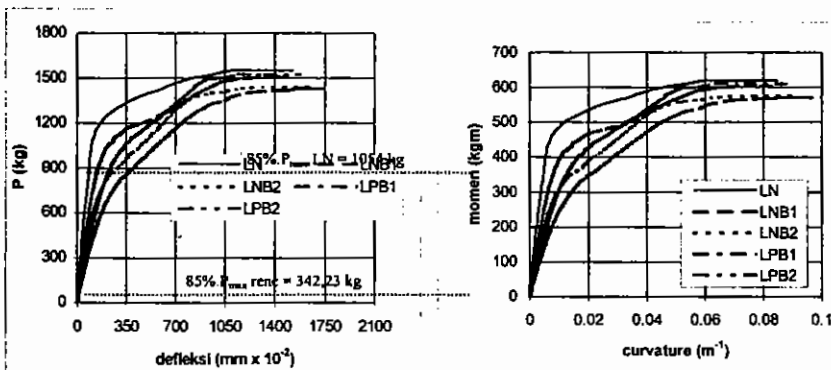
a. Mereduksi temperatur

b. Mereduksi defleksi

Gambar 12. Efektifitas fireproofing plesteran beton pada saat kebakaran

Tabel 7. Kelayakan pelat beton sesudah terbakar plesteran beton

Benda uji pelat	$\Delta$ pada 85% $P_{max}$ renc ( $mm \times 10^{-2}$ )		$\Delta$ pada 85% $P_{max}$ LN ( $mm \times 10^{-2}$ )	
Tidak dibakar (LN)	28	memenuhi kelayakan	104	memenuhi kelayakan
Sesudah terbakar (LNB1)	87	memenuhi kelayakan	568	tidak memenuhi kelayakan
Sesudah terbakar (LNB2)	56	memenuhi kelayakan	458	tidak memenuhi kelayakan
Sesudah terbakar (LPB1)	71	memenuhi kelayakan	342	tidak memenuhi kelayakan
Sesudah terbakar (LPB2)	43	memenuhi kelayakan	224	tidak memenuhi kelayakan



a. Beban vs. defleksi

b. Momen *curvature*

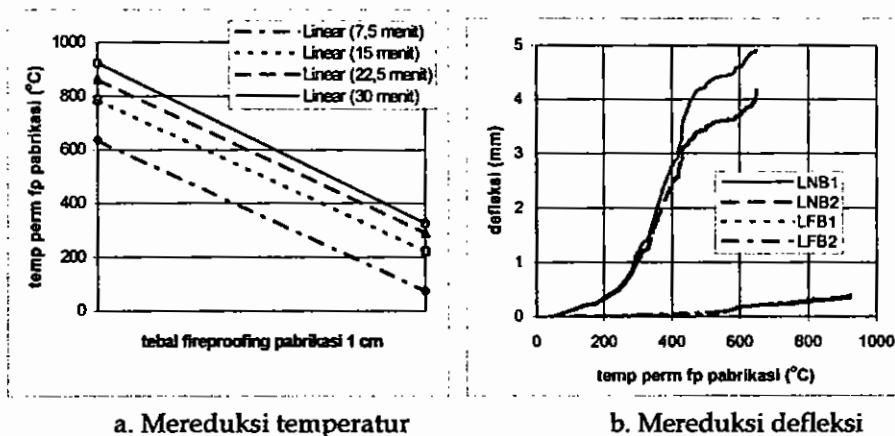
Gambar 13. Efektifitas fireproofing plesteran beton dalam mempertahankan kapasitas lentur sesudah kebakaran

Tabel 8. Kekakuan pelat beton sesudah terbakar plesteran beton

Benda uji	P <sub>prop</sub> (kg)	δ <sub>prop</sub> (mm)	Kekakuan (kg/mm)	Sisa kekakuan (%)	
				Terhadap LN	Terhadap LNB1 dan LNB2
LN	1000	0,95	1052,63		
LNB1	675	2,11	319,91	30	
LNB2	600	1,74	344,83	33	
LPB1	675	1,50	450,00	43	136
LPB2	975	1,77	550,85	52	166

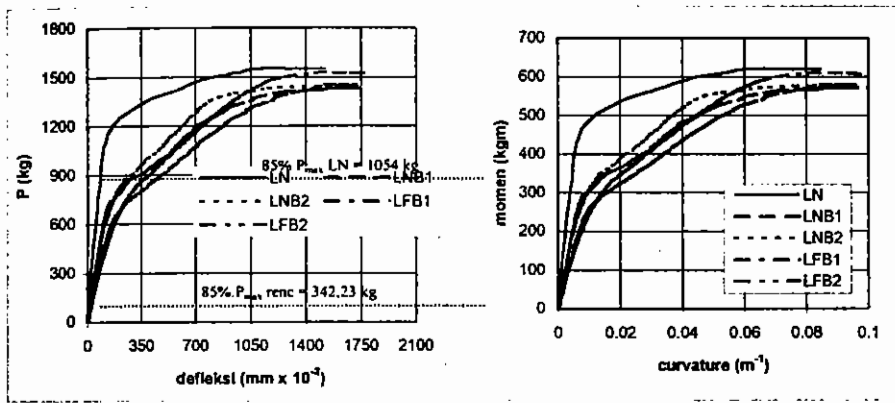
### 3. Fireproofing Pabrikasi

Efektifitas *fireproofing* pabrikasi dalam mereduksi temperatur dan defleksi saat kebakaran serta kemampuan mempertahankan kapasitas lentur sesudah kebakaran dapat dilihat pada gambar 14 dan gambar 15. Kelayakan pelat dan kekakuan pelat sesudah terbakar dengan *fireproofing* pabrikasi dapat dilihat pada tabel 9 dan tabel 10.

Gambar 14. Efektifitas *fireproofing* pabrikasi pada saat kebakaran

Tabel 9. Kelayakan pelat beton sesudah terbakar plesteran beton

Benda uji pelat	$\Delta$ pada 85%. $P_{max}$ renc ( $mm \times 10^{-2}$ )		$\Delta$ pada 85%. $P_{max}$ LN ( $mm \times 10^{-2}$ )	
	Tidak dibakar (LN)	28	memenuhi kelayakan	104
Sesudah terbakar (LNB1)	87	memenuhi kelayakan	568	tidak memenuhi kelayakan
Sesudah terbakar (LNB2)	56	memenuhi kelayakan	458	tidak memenuhi kelayakan
Sesudah terbakar (LFB1)	82	memenuhi kelayakan	672	tidak memenuhi kelayakan
Sesudah terbakar (LFB2)	57	memenuhi kelayakan	550	tidak memenuhi kelayakan



a. Beban vs. defleksi

b. Momen *curvature*

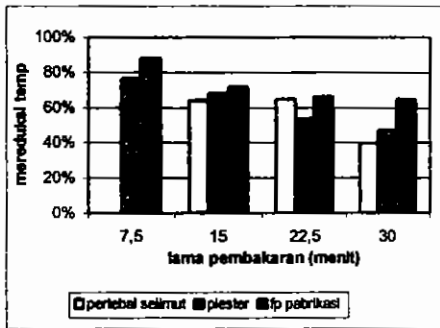
Gambar 15. Efektifitas *fireproofing* pabrikasi dalam mempertahankan kapasitas lentur pasca kebakaran

Tabel 10. Kekakuan pelat beton sesudah terbakar dengan *fireproofing* pabrikasi

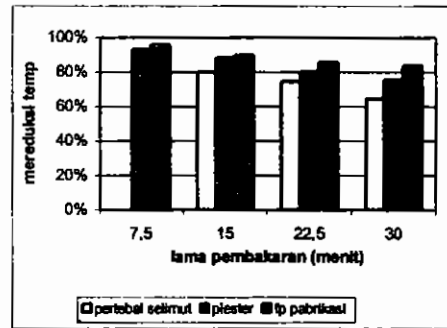
Benda uji	$P_{prop}$ (kg)	$\delta_{prop}$ (mm)	Kekakuan (kg/mm)	Sisa kekakuan (%)	
				Terhadap LN	Terhadap LNB1 dan LNB2
LN	1000	0,95	1052,63		
LNB1	675	2,11	319,91	30	
LNB2	600	1,74	344,83	33	
LFB1	550	1,37	401,46	38	121
LFB2	625	1,09	573,39	54	173

4. Fireproofing Non Pabrikasi terhadap Fireproofing Pabrikasi

Efektifitas *fireproofing* non pabrikasi dibandingkan dengan pabrikasi dalam mereduksi temperatur *exposed surface* dan temperatur pada elevasi tulangan dapat dilihat pada gambar 16, sedangkan efektifitas *fireproofing* non pabrikasi dibandingkan dengan pabrikasi dalam mereduksi defleksi kebakaran serta kemampuan mempertahankan kapasitas lentur sesudah kebakaran diperlihatkan pada gambar 17.

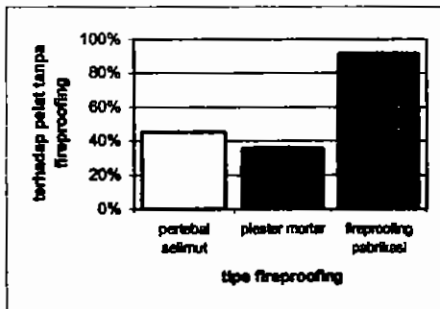


a. Pada elevasi *exposed surface*

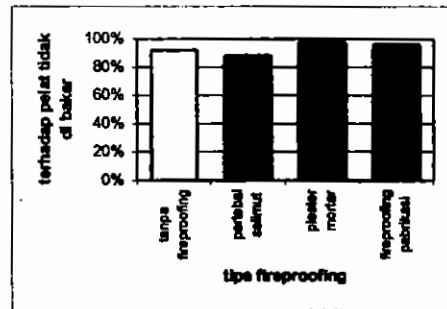


b. Pada elevasi tulangan

Gambar 16. Efektifitas *fireproofing* dalam mereduksi temperatur kebakaran



a. Mereduksi defleksi saat kebakaran



b. Mempertahankan  $P_{max}$  pasca kebakaran

Gambar 17. Efektifitas pemakaian *fireproofing*



## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Pelat Beton Tanpa Fireproofing (benda uji pelat LN, LNB1, dan LNB2)

1. Distribusi temperatur satu arah dari *exposed surface* ke dalam pelat beton membentuk garis lengkung *exponential (asymptotic)* pada kedalaman beton yang cukup untuk mengisolasi perubahan temperatur

2. Defleksi pelat beton selama kebakaran bertambah seiring dengan lama waktu kebakaran dan peningkatan temperatur. Defleksi pelat bertambah dengan cepat pada temperatur kebakaran di atas 300°C

3. Defleksi maksimum pelat beton pada saat terbakar sebesar 137% dari batas keamanan  $\frac{L}{360}$  (ACI 318-95 R9.5.2.6) dan kuat lentur pelat beton sesudah terbakar turun menjadi 92% dibandingkan dengan pelat beton yang tidak mengalami kebakaran

4. Defleksi pelat yang tidak dibakar dan pelat sesudah terbakar akibat 85% beban desain (ACI 318-95 20.3.2) masih memenuhi persyaratan kelayakan, yaitu kurang dari  $\frac{l_i^2}{20.000h}$  (ACI 318-95 20.5.2)

5. Kuat tekan beton *exposed surface* pelat sesudah terbakar sebesar 79,5% dibandingkan pelat sebelum terbakar, sedangkan kuat leleh baja pasca bakar turun menjadi 91% dibandingkan dengan keadaan sebelum terbakar.

6. Model keruntuhan pelat beton yang mengalami kebakaran adalah keruntuhan lentur dengan pola retak meneruskan retak rambut akibat kebakaran

### Pelat Beton Menggunakan Fireproofing

1. Fireproofing pertebal selimut beton mampu mereduksi temperatur pada elevasi *exposed surface* dan pada elevasi tulangan pelat beton hingga 40% dan 65%, serta mereduksi defleksi pada saat kebakaran hingga 45%

2. Fireproofing plesteran mortar beton mampu mereduksi temperatur pada elevasi *exposed surface* dan pada elevasi tulangan pelat beton hingga 47% dan 76%, mereduksi defleksi pada saat kebakaran hingga 36%, dan meningkatkan kuat lentur pelat sesudah terbakar hingga 106%

3. *Fireproofing* pabrikasi mereduksi temperatur pada elevasi *exposed surface* dan pada elevasi tulangan pelat beton hingga 65% dan 84%, mereduksi defleksi pada saat kebakaran hingga 92%, dan meningkatkan kuat lentur pelat sesudah terbakar hingga 104%

4. Defleksi pelat *fireproofing* akibat 85% beban desain (ACI 318-95 20.3.2) masih memenuhi persyaratan kelayakan, yaitu kurang dari

$$\frac{l_t^2}{20.000h} \quad (\text{ACI 318-95 20.5.2})$$

5. Bentuk *fireproofing* yang paling efektif untuk perlindungan struktur pelat beton normal dengan baja tulangan mutu tinggi adalah *fireproofing* pabrikasi.

#### Saran

1. Perlu penelitian lebih lanjut tentang pengaruh bentuk-bentuk *fireproofing* yang lain yang belum di uji dalam penelitian ini

2. Perlu penelitian lebih lanjut tentang aplikasi dan efektifitas *fireproofing* pada struktur yang lain selain struktur pelat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ACI 318, 1995, *Building Code Requirements for Structural Concrete*, Farmington Hills.
- ASTM E-119, 1984, *Standard Test Method for Fire Tests of Building Construction and Materials*. Volume 04.06, American Society for Testing and Material, Philadelphia, pp 331-351.
- Fintel, M., 1987, *Buku Pegangan Tentang Teknik Beton*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Malhotra, H. L., 1982, *Design of Fire-Resisting Structures*, Surrey University Press, London.
- Neville, A. M., 1975, *Properties of Concrete*, The English Language Book Society and Pitman Publishing, London.
- Salmon, G. C., and Johnson, E. J., 1992, *Steel Structure Design and Behavior*, University of Wisconsin-Madison.
- Triwiyono, A., 2001, *Kerusakan Struktur Gedung Pasca Kebakaran, Kursus Singkat Evaluasi dan Penanganan Struktur Beton Pasca Kebakaran dan Gempa*, PAUIT UGM, Yogyakarta.