

## **PENGARUH FIRE PROOFING PADA PERILAKU PELAT BETON MUTU TINGGI SAAT TERBAKAR**

Reni Sulistyawati<sup>1</sup>

### **ABSTRACT**

*The risk of the high-strength concrete is in line with the increase of temperature, especially for concrete slab where the surface exposure is relatively wider than beams or columns. The effort to overcome the problem has been carried out, amongst other is to cover with blanket namely fire proofing. This research is to conduct the characteristics of concrete slabs under fire exposure.*

*Eight samples were cast with concrete having compressive strength of 52,68 MPa and were reinforced with high-strength steel having yield stress of 600 MPa. The samples which were of 60 mm thick, 600 mm wide and 1200 mm long, were equipped with reinforcement at 10 mm deep. Eight of samples were grouped into 2 samples each to represent 4 group. Each group represents the reference (type I), the ones with thicker concrete cover (type II), the ones with additional mortar cover (type III), and the ones with fire proofing product (type IV). Fire tests were conducted through all groups. and the test procedure follows the ASTM E119-88. The fire exposure was done in 30 minutes and the equivalent live load of 345 kg/m<sup>2</sup> was provided during the fire tests. Three thermocouples were also employed at different levels of depth of concrete to monitor the heat transfer in the high strength concrete and one thermocouple was used for monitoring furnace temperature.*

*The experiment shows that the application of fire proofing product is much more efficient in reducing heat of concrete surfases. The reductions of temperature for slab type II, III, and IV are of 56,44%, 68,145%, and 85,14%. respectively. Crack spreads more evenly in the slab of type I and II. Explosive spalling happens more at the reference slab in comparison to the slab with thicker concrete cover. The deflections of slab of type I, II, III, and IV after fire exposure are of 315,92%, 319,52%, 240,84% and 73,96% in comparison to maksimum deflections.*

**Keywords** : crack, spalling, high-strength concrete, fire proofing.

### **PENDAHULUAN**

Integritas dan kekuatan struktur bangunan gedung baik baja maupun beton, sangat dipengaruhi oleh penampakan (*exposure*) terhadap lingkungannya. *Exposure* terhadap panas yang sangat tinggi mengakibatkan perubahan kinerja material akibat adanya perubahan sifat (*property*) dari material tersebut. Dari hasil pengamatan secara visual terhadap gedung-gedung yang terbakar, pelat lantai beton

sangat rentan terhadap *spalling*, hal ini disebabkan antara lain luasnya permukaan pelat lantai beton *exposure*.

Kerusakan elemen struktur beton akibat kebakaran akan berakibat fatal apabila terjadi pengelupasan pada selimut beton (*spalling*). Oleh karena itu kebakaran gedung perlu mendapat perhatian serius dari semua pihak mengingat kasus kebakaran gedung tak bisa dielakkan akibat berbagai hal antara lain : hubungan arus listrik, kompor masak yang tak terkendali,

---

<sup>1</sup> Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik  
Universitas Wijayakusuma Purwokerto

maupun sengaja dibakar massa pada saat huru hara (Suhendro 2000).

Temperatur pada ruang gedung yang terbakar dapat mencapai maksimum  $\pm 1200$  °C dan suhu rata-rata (800 – 900) °C, suhu pada ketebalan selimut beton 10 mm dicapai 480 °C setelah 30 menit, 680 °C setelah 60 menit dan 800 °C setelah 90 menit (Surahman 1998). Beton yang mengalami peningkatan temperatur selama pemanasan, air yang terkandung dalam pori-pori dan kapiler beton akan menguap. Pada 100 °C sebagian air dan *Calcium Silicate* (CaSi) sebagai *desiccation* yang terhidrasi dalam pasta semen akan menghilang, diikuti berkurangnya kekuatan. Peningkatan jumlah tekanan uap pada pori-pori beton tersebut akan mengakibatkan terjadinya *explosive spalling*, yang menyebabkan sebagian segmen beton terlepas dari permukaan, ini terjadi pada temperatur antara 300 °C dan 600 °C. Pelepasan secara gradual selanjutnya akan terjadi karena adanya formasi retakan pada bidang beton, pada suhu 600 dan 900 beton menjadi sangat lemah dan rapuh (*brittle*) (Laporan akhir ITB, 1998).

Selain suhu, durasi kebakaran sangat mempengaruhi kerusakan struktur, banyak peraturan mensyaratkan bahwa setiap elemen struktur harus tahan terhadap kebakaran selama 2 jam (Priyosulistyo, 2000). Antisipasi yang dapat dilakukan antara lain dengan memberi lapisan pada *exposed surface* guna mengurangi rambatan panas, sehingga struktur beton masih bisa menahan beban rencana dan dapat dimanfaatkan kembali tanpa perbaikan yang memerlukan banyak biaya.

Kecenderungan struktur bangunan gedung semakin tinggi, sangat diperlukan beton mutu tinggi untuk mendapatkan balok, kolom dengan penampang ekonomis dan lantai dengan tebal minimum. Beton mutu tinggi mulai berkembang dan banyak digunakan karena memiliki keunggulan kinerja *structure* yang tinggi pada bangunan-bangunan, baik pada keadaan

layan (*service*), keadaan batas (*ultimite*), maupun keawetannya (*durability*) secara jangka panjang (HAKI 2001).

Secara teknik dan ekonomis beton mutu tinggi juga memungkinkan untuk diproduksi dalam skala komersial yang besar, cukup dengan metode dan material konvensional, yaitu dengan menambah bahan *admixture*, sehingga biaya ekstra produksi beton mutu tinggi seringkali lebih kecil dibanding penghematan bahan yang didapat dari pelat, balok, kolom dan pondasinya (Leite & Miranda, 2002). Namun demikian seiring meningkatnya mutu beton, resiko dari *exposing* terhadap temperatur yang tinggi juga meningkat (Priyosulistyo, 2000).

Penelitian eksperimental ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh *fireproofing* terhadap perilaku pelat beton mutu tinggi.

### **Manfaat**

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memahami fungsi pelindung kebakaran (*fireproofing*) pada bangunan gedung dan bagi dunia konstruksi diharapkan dapat memberikan solusi dalam mengantisipasi kegagalan struktur bangunan gedung akibat kebakaran. Adanya alternatif pemilihan jenis pelindung kebakaran memberi peluang untuk mengadakan penelitian lanjutan baik secara teknis maupun ekonomis.

### **CARA PENELITIAN DAN BAHAN-BAHAN YANG DIGUNAKAN**

#### **Beton**

Digunakan campuran beton dengan perbandingan berat semen, pasir, krikil adalah 1 : 1,053 : 2,342 dan faktor air semen 0,36, untuk *workability* beton segar ditambah bahan *superplastiziser* 1 % dari berat semen, dengan  $f_c = 52,68$  Mpa.

### Fire proofing

Untuk meningkatkan ketahanan api digunakan tiga variasi pelindung kebakaran yaitu dengan menambah tebal selimut beton, memberi lapis plesteran dan menggunakan *Fireproofing* fabrikasi. Bahan *sementitious* tersebut terbuat dari bahan dasar semen, merupakan produksi pertama jenis *monokote medium density*.

### Bahan Plesteran

Bahan ini digunakan sebagai alternative lain dalam memberi perlindungan kebakaran, digunakan campuran adukan 1 Semen:1 Kapur:3 Pasir.

### Baja Tulangan

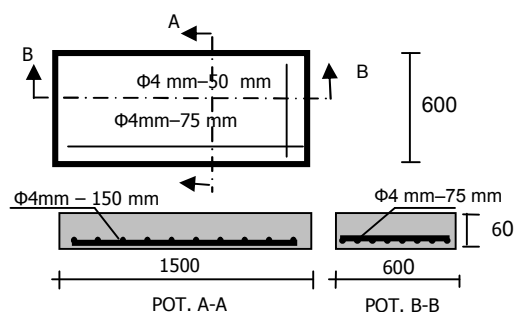
Sebagai tulangan beton digunakan rangkaian baja tulangan *prefab (wiremesh)* bernampang polos dengan diameter 4mm, spasi (150 x 150) mm, mutu baja  $U_{500}$ .

### Bentuk, Variasi Dan Jumlah Benda Uji (*specimen*)

Spesimen berupa pelat beton bertulang berjumlah 8 buah dengan ukuran berskala 1: 2 yaitu panjang, lebar dan tingginya 1500 mm, 600 mm dan 60 mm. Sebagai lapisan pelindung terhadap kebakaran dibuat variasi yaitu dengan menambah tebal selimut beton, memberi lapis plesteran dan melapisi dengan *fire proofing* produksi pabrik. Bentuk dan ukuran benda uji dapat dilihat pada Gambar 1, variasi serta jumlah spesimen pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi dan jumlah benda uji

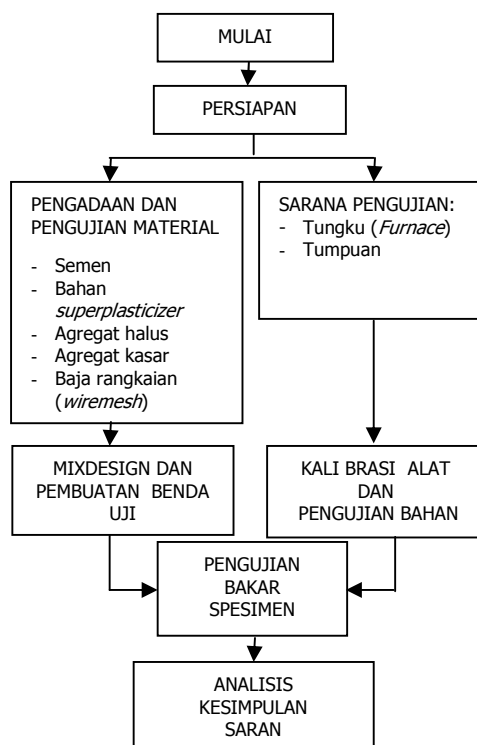
Tipe	Variasi spesimen	Jumlah
I	Pelat beton dengan selimut beton 1 cm	2
II	Pelat tipe I dengan penambahan tebal selimut beton menjadi 2cm	2
III	Pelat tipe I dilapis plesteran 1 cm	2
IV	Pelat tipe I dilapis <i>fireproofing</i>	2
Jumlah total		8



Gambar 1. Ukuran benda uji

### Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui tahapan-tahapan seperti bagan alir yang dapat dilihat pada Gambar 2.



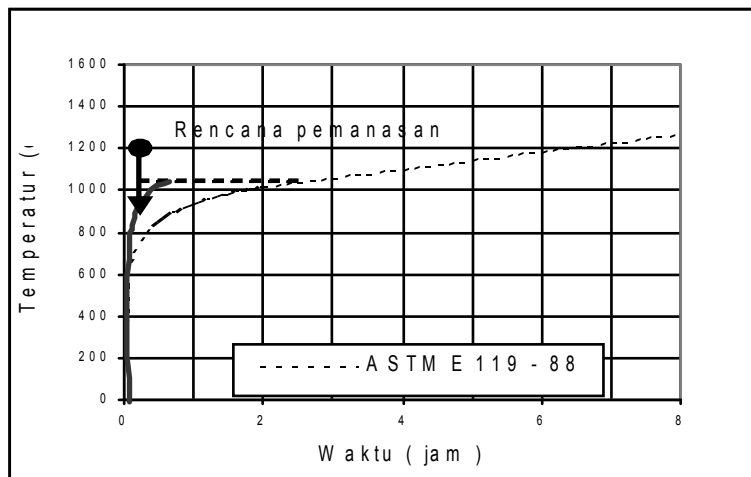
Gambar 2. Bagan alir pelaksanaan penelitian

## Pengaruh Fire Proofing pada Perilaku Pelat Beton Mutu Tinggi Saat Terbakar

Pemeriksaan agregat, dan uji tekan beton dilaksanakan di Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, sedangkan pengujian kebakaran dilaksanakan di Laboratorium Teknik Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

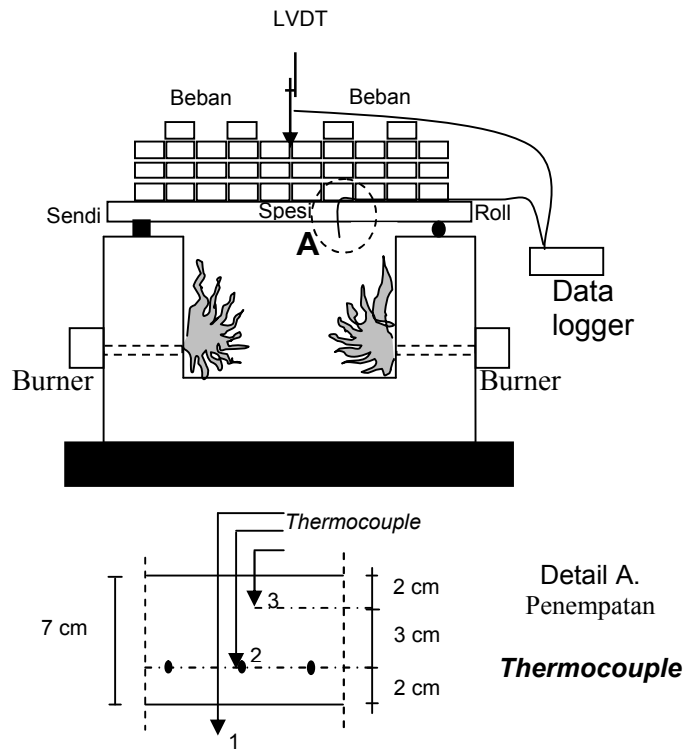
Persyaratan pengujian kebakaran untuk beton mutu tinggi yaitu apabila kadar air beton sekurang-kurangnya sebesar 5%, atau umur beton mencapai sekurang-kurangnya berumur minimal 60 hari. Pengujian kebakaran pada penelitian ini dilaksanakan setelah specimen berumur 105 hari.

Pengujian kebakaran dilakukan pada *furnace* berukuran ruang, panjang x lebar x tinggi yaitu 1m x 1,2 m x 1m. Sebagai pembangkit panas digunakan 3 buah burner masing-masing dengan *nozle type 2,00 60.S STEIMENT*, pemanasan sesuai kurva standar kurva ASTM E 119 -88, selama 30 menit (Gambar 3) sambil memberikan beban statik terbagi rata sebesar 345 kg/m<sup>2</sup>. Untuk mengamati rambatan panas pada pelat beton, digunakan tiga buah *thermocouple* yang dipasang pada kedalaman yang berbeda dan sebuah *thermocouple* untuk mengamati temperatur dalam tungku. Setup pengujian dapat dilihat pada Gambar 4, dan pelaksanaan pengujian dilaboratorium dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 3. Rencana pemanasan.

Pengujian bakar dilakukan tiap satu variasi terdiri dari dua benda uji dibakar secara bersamaan dalam satu tungku.



Gambar 4. *Setup* pengujian bakar



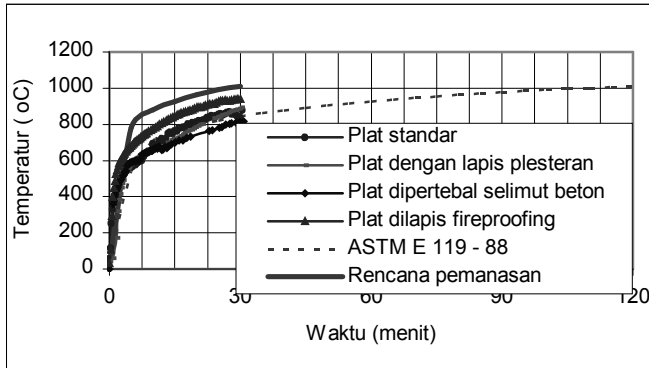
Gambar 5. Pelaksanaan pengujian bakar.

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**Kurva pemanasan**

Kurva pemanasan hasil pengujian bakar dapat dilihat pada Gambar 6, menunjukkan semakin lama durasi kebakaran semakin tinggi temperature yang

dicapai dan pola kurva pemanasan hasil penelitian mengikuti pola kurva standar ASTM E 119-88. Pemanasan yang diberikan selama 30 menit mencapai temperatur maksimum rata-rata ruang furnace sebesar 882 °C.

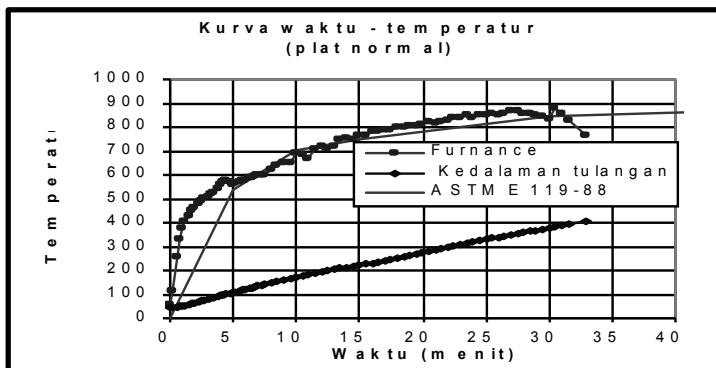


Gambar 6. Kurva pemanasan

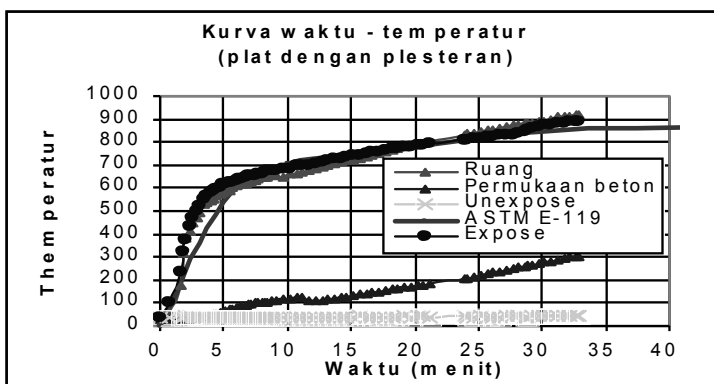
**Temperatur pada pelat beton**

Rambatan panas konduksi dipengaruhi oleh media yang dilalui, makin padat kerapatan media makin cepat waktu yang ditempuh dan temperatur yang dicapai pada kedalaman yang sama lebih tinggi demikian pula sebaliknya. Sebagai contoh pada menit ke 30, panas yang dicapai permukaan pelat beton untuk pelat beton normal, pelat dilapis plesteran dan pelat dilapis

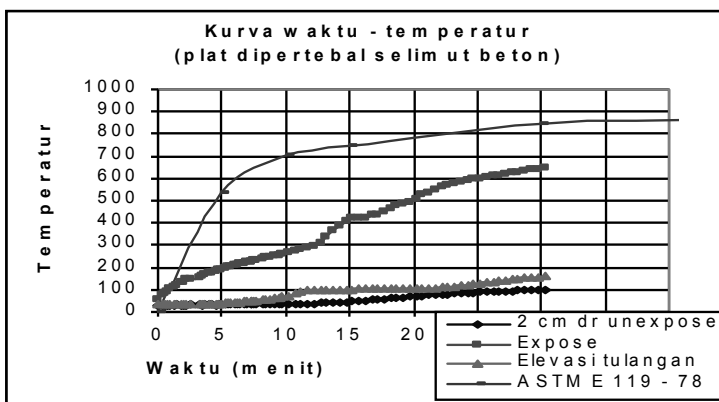
*fireproofing* temperature yang dicapai masing-masing sebesar 383,7 °C, 277,9 °C, dan 127°C. Rambatan panas konduksi pada pelat beton meningkat seiring dengan durasi waktu pembakaran dapat dilihat pada kurva hubungan waktu dengan temperature pada Gambar 7, terdiri (a) Spesimen normal, (b) specimen dipertebal selimut beton, (c) specimen dilapis plesteran dan (d) specimen dilapis *fireproofing* (fabrikasi).



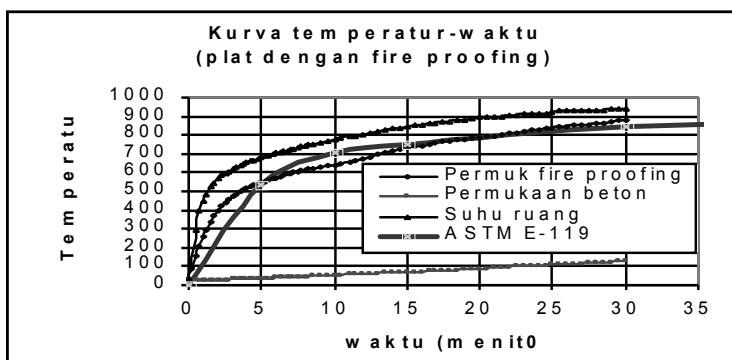
(a)



(b)



(c)



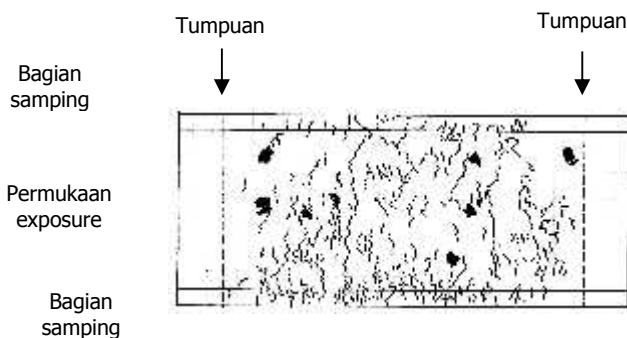
(d)

Gambar7. Kurva hubungan waktu dengan temperatur.

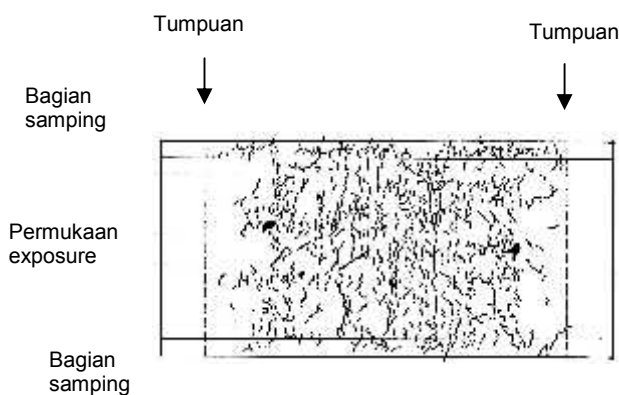
Dari kurva tersebut dapat diketahui, dengan adanya lapis perlindungan didapatkan penurunan panas pada permukaan pelat sebesar masing-masing untuk pelat dipertebal selimut beton, pelat dilapis plesteran dan pelat dilapis *fireproofing* sebesar 56,44%, 68,145% dan 85,14%. Dengan demikian Lapis plesteran dapat mereduksi panas lebih baik dari pertebalan selimut beton dan lapisan *fireproofing* dapat mereduksi panas lebih baik dibandingkan dengan memberi lapis plesteran. Lapis perlindungan dengan bahan *fireproofing* fabrikasi paling baik dalam mereduksi panas kebakaran.

### ***Crack dan Explosive spalling***

Akibat beban kebakaran yang diterima plat, menimbulkan retak-retak rambut yang menyebar rata pada seluruh permukaan terbakar. Semakin lama durasi kebakaran, temperature permukaan plat terbakar akan semakin meningkat, retak-retak (*crack*) yang terjadi semakin banyak, lebar dan lebih dalam yang akhirnya terjadi pelepasan segmen beton dari permukaan pelat diiringi dengan suara ledakan (*explosive spalling*). Fenomena ini terjadi untuk permukaan plat tanpa perlindungan, pada suhu antara 300 °C – 600 °C,. Pola retak tipikal untuk pelat standar dan plat dipertebal selimut beton dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



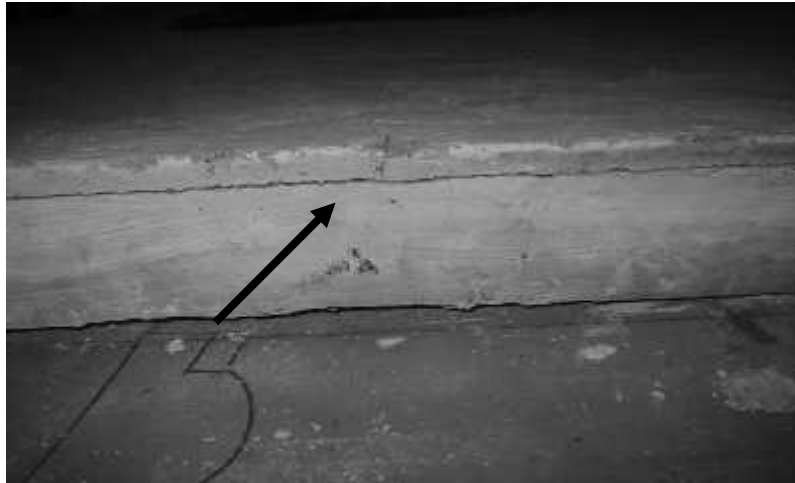
Gambar 8. *Crack R1-T* - plat standar



Gambar 9. *Crack R2-B* – plat dipertebal selimut beton

Pada pelat dilapis plesteran, pelepasan terjadi secara gradual menyeluruh di antara

lapis plesteran dengan permukaan betonnya dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Crack pada plat dilapis plesteran.

Pada pelat dengan lapis *fireproofing* fenomena tersebut di atas tidak terjadi, namun demikian lapisan *fireproofing* rapuh

setelah mengalami kebakaran dapat dilihat pada Gambar 11.

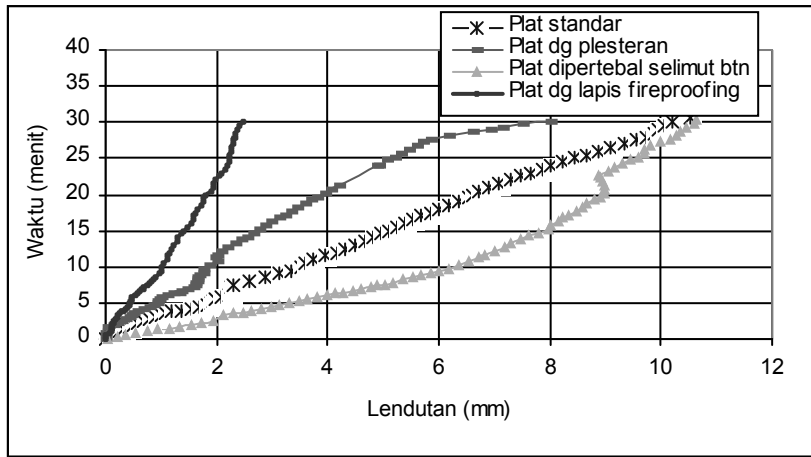


Gambar 11. *Fireproofing* pasca bakar.

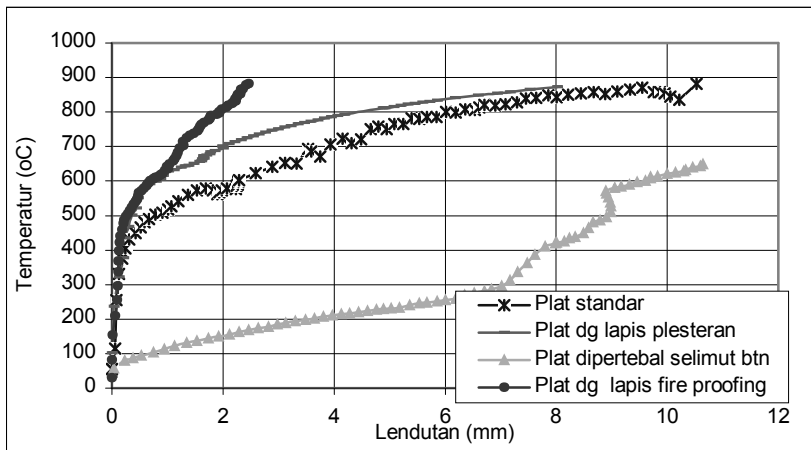
**Lendutan saat terbakar**

Besarnya lendutan akibat kebakaran sangat dipengaruhi oleh durasi pemanasan dan tingginya temperatur yang dialami pada permukaan pelat beton. Semakin lama

pemanasan semakin besar lendutan yang terjadi (Gambar 12) demikian pula semakin tinggi temperatur yang diterima permukaan pelat beton juga mengakibatkan lendutan semakin besar (Gambar 13).



Gambar 12. Hubungan lendutan dengan waktu berbagai variasi pelat.



Gambar 13. Hubungan lendutan dengan temperature berbagai variasi pelat

Kurva hubungan antara lendutan dan temperature memperlihatkan adanya efektifitas pemberian lapis pelindung kebakaran. Perlindungan pelat beton dengan lapis *fireproofing* paling efektif, akibat kebakaran selama kurun waktu 30 menit dan temperature kebakaran maksimum yang dicapai rata-rata 882 °C, besar lendutan yang terjadi paling rendah. Besarnya lendutan maksimum yang terjadi akibat beban kebakaran, berat sendiri dan beban terbagi rata dari tumpukan bata tahan api sebesar 345 kg/m<sup>2</sup>, berturut-turut pada pelat yang diberi lapisan *fireproofing*, lapisan plesteran, pelat standar, dan pelat yang dipertebal selimut betonnya yaitu 2,46 mm; 8,02 mm; 10,52 mm dan 10,64 mm. Pada pelat dipertebal selimut beton, besarnya lendutan juga dipengaruhi oleh penambahan berat sendiri, ditunjukkan dengan lendutan yang lebih besar dibandingkan dengan pelat standar.

Dalam persyaratan ACI 318-95 R9.5.2.6 besarnya lendutan dibatasi sebesar

$$= \frac{L}{360} = \frac{1200}{360} = 3,33 \text{ mm. Bila}$$

dibandingkan dengan lendutan maksimum yang diijinkan maka dapat dilihat kelayakan pelat seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Persentase lendutan yang terjadi terhadap lendutan maksimum yang diijinkan

Type Pelat	Lendutan yang terjadi (mm)	Persentase lendutan terhadap lendutan ijin (%)	Keterangan
I	10,52	315,92	Tidak layak
II	10,64	319,52	Tidak layak
III	8,02	240,84	Tidak layak
IV	2,463	73,96	layak

Tabel 2. menunjukkan bahwa lapisan perlindungan dari bahan *fireproofing* (fabrikasi) sangat efektif dalam perlindungan kebakaran, hingga lendutan yang terjadi akibat kebakaran dan beban

kerja sebesar 73,96% dari lendutan maksimum yang diijinkan. Konstruksi pelat tersebut masih dapat dimanfaatkan kembali, tanpa melakukan perbaikan.

## KESIMPULAN

Kesimpulan yang bisa diambil dari hasil penelitian ini antara lain:

1. Semakin lama durasi kebakaran semakin tinggi temperature yang dicapai dan pola kurva pemanasan hasil penelitian mengikuti pola kurva standar ASTM E 119-88.
2. Pemberian lapisan perlindungan kebakaran dapat mereduksi panas permukaan pelat terlindung sebesar masing-masing untuk pelat dipertebal selimut beton, pelat dilapis plesteran dan pelat dilapis *fireproofing* sebesar 56,44%, 68,145% dan 85,14%. Lapisan *Fireproofing* dapat mereduksi panas paling baik.
3. Akibat beban kebakaran yang diterima plat, menimbulkan retak-retak rambut (*crack*) yang menyebar rata pada seluruh permukaan pelat beton tanpa perlindungan. *Crack* semakin banyak dan terjadi pelepasan segmen beton disertai suara ledakan (*explosive spalling*) pada suhu antara 300 °C – 600 °C.
4. Pemberian lapisan perlindungan dengan lapisan plesteran maupun *fireproofing*, secara efektif menanggulangi *crack* pada permukaan beton. Terjadi pengelupasan secara gradual antara lapis plesteran dan permukaan pelat beton. Lapisan *fireproofing* rapuh setelah mengalami kebakaran, dan pelat dapat dimanfaatkan kembali tanpa melakukan perbaikan yang berarti.
5. Lendutan yang terjadi pada saat kebakaran, untuk pelat normal, pelat dipertebal selimut beton, pelat dilapis plesteran dan pelat dilapis *fireproofing* masing-masing sebesar 315,92%, 319,52%, 240,84% dan 73,96% dari

lendutan maksimum yang diijinkan. Pelat yang dilapis *fireproofing* masih memenuhi persyaratan lendutan ijin.

### Ucapan Terimakasih

Penulis bermaksud menyatakan terima kasih yang sebesar-besarnya khususnya kepada beliau bapak Ir. Hrc. Priyosulistyo, M.Sc., Ph.D., atas bimbingan dan dukungan dana dalam penelitian ini ( HB IX). Juga kepada beliau bapak Dr. Ing. Ir. Andreas Triwiyono, dan bapak Prof. Bambang Suhendro, M.Sc., Ph.D., atas bimbingan dan masukan-masukannya sehingga penelitian dapat berjalan dengan lancar. Kepada Yayasan Wijayakusuma Purwokerto sebagai penyandang dana studi lanjut, kedua orang tua, suami, anak, sanak saudara serta rekan-rekan yang telah banyak mendukung dalam studi lanjut juga diucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya.

### DAFTAR PUSTAKA

ACI 318, 1995, *Building Code Requirements for Structural Concrete*, Farmington Hills.

ASTM E 119-88, *Standard Test Method for fire Tests of Building Construction and Material*, Volume 04.07 Building Seals and Sealants: Fire Standards; Building Constructions, American Society for Testing and Material, Philadelphia PA., pp 331-351.

ANSI/ACI 216.1-97, TMS-0216-97, *Standard Test Method for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction*

*Assemblies*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Chapter 2.

Grosshandler, 2002, NISTIR 6890 *Fire Resistance Determination and Performance Prediction Research Needs Workshop: Proceedings*, NIST US.

Leit dan Miranda, 2002, *High Strength Concrete in New Buildings in Salvador Brazil*.

Priyosulistyo, 2000, *Sifat-Sifat Mekanik Bahan Struktur Terhadap Beban Gempa dan Temperatur Tinggi*, Kursus Singkat Evaluasi dan Penanganan Struktur Beton Pasca Kebakaran dan Gempa, PAUIT UGM Yogya.

Phan dan Nicholas, 2002, *Effects of Test Conditions and Mixture Proportions on Behavior of High-Strength Concrete Exposed to High Temperatures*, ACI Materials Journal, January-February 2002 pp 54-66.

Suhendro, 2000, *Analisis Degradasi Kekuatan Struktur Beton Bertulang Pasca Kebakaran*, Kursus Singkat Evaluasi dan Penanganan Struktur Beton Pasca Kebakaran dan Gempa, PAUIT UGM Yogya.

Suhendro, B., 2000, *Teori Model Struktur dan Teknik Eksperimental*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

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

Triwiyono A, 2000, *Kerusakan Struktur Gedung Pasca Kebakaran*, Kursus Singkat Evaluasi Dan Penanganan Struktur Beton Yang Rusak Akibat Kebakaran Dan Gempa, PAUIT UGM Yogyakarta.