

ANALISIS PENGARUH JENIS DAN TEBAL *SPRAY APPLIED MATERIALS FIREPROOFING* TERHADAP KETAHANAN API BALOK BAJA

N.K.A.Agustini¹, A.Triwiyono²

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Warmadewa, Jl. Terompong No 24 Denpasar Bali
Email: kmgayuagustini@gmail.com

² Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No 2 Yogyakarta
Email: andreas.triwiyono@ugm.ac.id

Abstract: Protection against fire is important to maintain the strength of the structure. Fireproofing can be used as an anticipation to reduce the spread of the fire. Evaluation the effect of fire on structural elements is generally performed by a numerical approach. Analysis of simple beam IWF 150x75x5x7 with 3,5 span length using varied fireproofing such as CAFCO 300, Carboline Type 5 MD and Typo WR-AFD was conducted with Abaqus CAE 6.11-1. Nonlinear material properties of steel based on Eurocode 3 while thermal properties of fireproofing are constant. Thickness variation of fireproofing are 10 and 20 mm. Pressure load was carried on the top flange of steel beam. ASTM E-119 used as a thermal load by conduction on 3 sides (left, right and bottom) with duration of 2 hours. The results showed that type and thickness variation of the fireproofing has a significant effect on the fire resistance of steel beams. The highest temperatures occur when steel coated by Typo WR-AFP and the lower temperatures occur when steel coated by CAFCO 300. Maximum deflection of steel beam occurred when steel coated by Typo WR-AFD. Steel beam with Typo WR-AFD experiencing a critical deflection with the fastest time of 4.80 minutes at 10 mm thick and 9.10 min at 20 mm thick. Steel beam with 10 mm thick of fireproofing achieve yield stress when the time 14.03, 8.86 and 5, 12 minutes for fireproofing CAFCO 300, Carboline Type 5 MD and Typo-AFD WR. Steel beam with 20 mm thick of fireproofing experiencing yield stress only on Typo WR-AFD at 10.22 minutes.

Keywords: Type of fireproofing, thickness of fireproofing, temperatures, deflection, yield stress.

Abstrak : Perlindungan terhadap api (kebakaran) merupakan hal penting untuk mempertahankan kekuatan struktur sehingga masih dapat menahan beban rencana. Lapisan *fireproofing* pabrikasi dapat digunakan sebagaiantisipasi untuk mengurangi rambatan panas akibat kebakaran. Evaluasi pengaruh kebakaran pada elemen struktur umumnya dilakukan dengan pendekatan numerik. Analisis pengaruh ketebalan dan sifat termal *fireproofing* jenis *spray applied materials* bervariasi yaitu CAFCO 300, Carboline Type 5MD dan Typo WR-AFD terhadap ketahanan api balok sederhana IWF 150x75x5x7 menggunakan Abaqus CAE 6.11. Material baja bersifat non linier sesuai Eurocode 3 sedangkan sifat termal *fireproofing* bersifat konstan. Variasi ketebalan lapisan digunakan 10 dan 20 mm. Beban tekan (*pressure loads*) dikerjakan di sayap atas balok. Beban termal menggunakan standar api ASTM E-119 secara konduksi di 3 sisi (samping kiri, kanan dan bawah) dengan durasi 2 jam. Hasil penelitian menunjukkan variasi jenis dan ketebalan fireproofing memberikan pengaruh signifikan terhadap ketahanan api balok baja. Suhu baja tertinggi terjadi saat baja dilapisi fireproofing jenis TYPO WR-AFP dan terendah saat dilapisi fireproofing CAFCO 300. Baja dengan lapisan fireproofing TYPO menghasilkan lendutan paling besar dibanding baja dengan lapisan fireproofing lainnya Baja dengan lapisan fireproofing Typo WR-AFD mengalami lendutan kritis dengan waktu tercepat yakni 4,80 menit saat tebal 10 mm dan 9,10 menit tebal 20 mm Baja dengan lapisan fireproofing 10 mm mencapai tegangan leleh saat waktu 14,03 , 8,86 dan 5, 12 menit untuk fireproofing CAFCO 300, Carboline Type 5 MD dan Typo WR-AFD. Baja dengan tebal fireproofing 20 mm mengalami tegangan leleh hanya pada jenis Typo WR-AFD saat 10,22 menit

Kata kunci : jenis fireproofing, tebal fireproofing, temperatur, lendutan, tegangan.

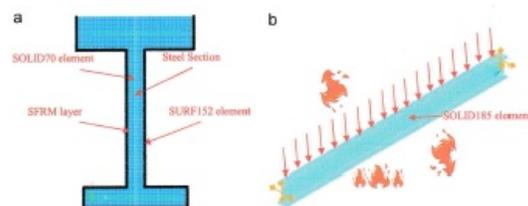
PENDAHULUAN

Struktur bangunan umumnya direncanakan dapat berfungsi selama masa layan (*serviceability*) tertentu. Namun selama waktu tersebut, struktur bangunan rentan terhadap kebakaran karena memiliki material mudah terbakar (*combustible material*). Kerusakan akibat kebakaran bersifat merugikan. Perlindungan terhadap api (kebakaran) merupakan hal penting untuk mempertahankan kekuatan struktur. Lapisan *fireproofing* pabrikan dapat digunakan sebagai antisipasi untuk mengurangi rambatan panas akibat kebakaran. *Fireproofing* merupakan bahan pabrikan dengan bahan dasar semen atau gipsum dikombinasikan dengan bahan lain dengan ketahanan temperatur tinggi. Evaluasi pengaruh kebakaran elemen struktur memerlukan biaya mahal dalam pembuatan benda uji dan alat khusus dalam pengujiannya (Jeffers dan Sotelino, 2009) sehingga analisis pengaruh api dilakukan dengan pendekatan numerik. Dalam penelitian ini dibahas pengaruh ketebalan dan sifat termal *fireproofing* jenis spray applied materials bervariasi yaitu CAFCO 300, Carboline Type 5MD dan Typo WR-AFD terhadap ketahanan api balok sederhana IWF 150x75x5x7 menggunakan Abaqus CAE 6.11. Material baja bersifat non linier sesuai Eurocode 3 sedangkan sifat termal *fireproofing* bersifat konstan (Kodur dan Shakya, 2013). Variasi ketebalan lapisan digunakan 10 dan 20 mm. Beban tekan (*pressure loads*) dikerjakan di sayap atas balok. Beban termal menggunakan standar api ASTM E-119 secara konduksi di 3 sisi (samping kiri, kanan dan bawah) dengan durasi 2 jam.

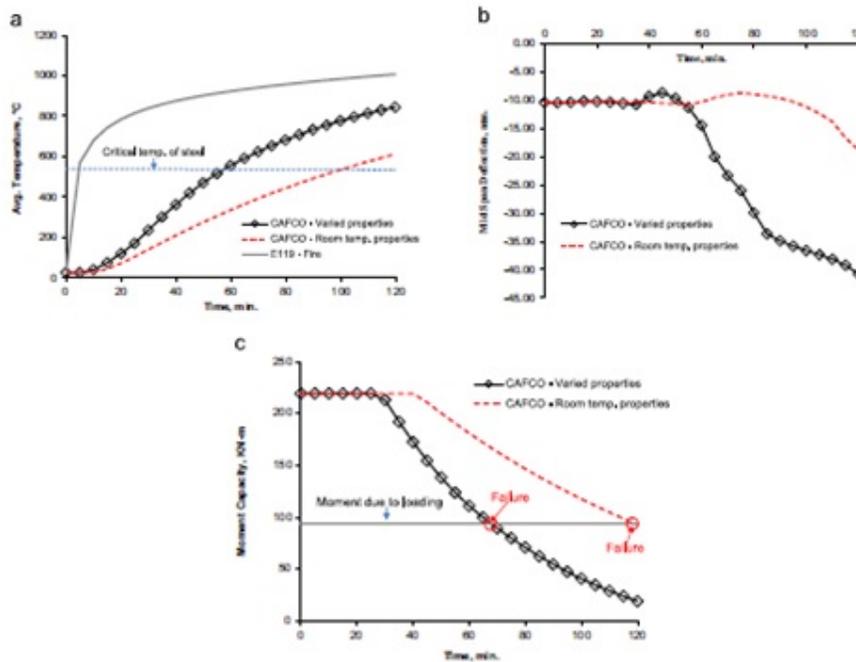
TINJAUAN PUSTAKA

Kodur dan Shakya (2013) melakukan pengujian laboratorium terhadap 3 jenis material *fireproofing* yaitu CAFCO 300, Carboline Type-5MD, Typo WR-AFP. Benda uji berukuran 50x50x25 mm³ dengan temperatur berkisar 20°C-700°C untuk uji konduktivitas termal dan panas spesifik, 20°C-1000°C untuk

uji regangan termal dan 20°C-775°C untuk berat jenis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur memberikan efek signifikan terhadap berat jenis, konduktivitas termal, panas spesifik dan regangan termal. Konduktivitas termal dan berat jenis terbesar dimiliki Typo WR-AFP sedangkan terkecil dimiliki CAFCO 300. Panas spesifik berbanding terbalik dengan berat jenis sehingga semakin kecil berat jenis semakin besar nilai panas spesifik maka dari ketiga material *fireproofing* ini CAFCO 300 memiliki nilai panas spesifik terbesar dan Typo WR-AFP memiliki panas spesifik terkecil. Selanjutnya dilakukan analisis numerik ANSYS terhadap balok W12x30 panjang 3,5m dengan lapisan *fireproofing* 1 inch (Gambar 1). Dalam analisis, material baja bersifat non linier terhadap temperatur mengikuti Eurocode 3 sedangkan sifat termal *fireproofing* bersifat konstan dan non linier terhadap temperatur sesuai hasil pengujian. ASTM E-119 digunakan sebagai beban termal dan beban tekan dikerjakan di sayap atas balok. Gambar 2 menunjukkan hasil analisis balok dengan lapisan *fireproofing* CAFCO 300 berupa (a) distribusi temperatur, (b) lendutan maksimum dan (c) kapasitas penampang balok. Dari gambar tersebut dapat ditunjukkan bahwa sifat termal *fireproofing* bervariasi terhadap temperatur sebagai input data dalam analisis numerik dapat mengevaluasi respon api lebih realistis.



Gambar 1. Pemodelan Baja IWF dengan lapisan *fireproofing* dan terkena api di ketiga sisinya (Kodur dan Shakya, 2013)



Gambar 2. Pengaruh sifat termal *fireproofing* terhadap (a) distribusi temperatur (b) lendutan dan (c) kapasitas momen baja

LANDASAN TEORI

Konduksi Panas 3-Dimensi Kondisi Tunak

Gambar 3 menunjukkan perlakuan panas elemen $dx \times dy \times dz$ dengan tepi sejajar dengan koordinat Cartesian $x, y,$ dan z . Untuk membangun kondisi konduksi panas *steady state* persamaan dasar dalam tiga dimensi itu, perlu menggunakan prinsip konservasi energi, yaitu untuk perpindahan panas kondisi tunak (*steady state*), panas masuk ke elemen harus sama dengan panas keluar dari elemen tersebut. Pertimbangkan perpindahan panas dalam arah x . Total aliran panas ke elemen adalah :

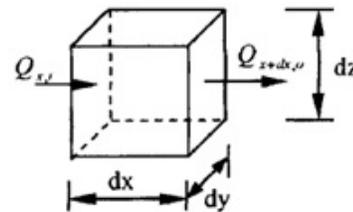
$$\dot{Q}_{x,i} = -k_x \frac{\partial T}{\partial x} dydz$$

Total aliran panas dari elemen adalah:

$$\dot{Q}_{x+d_x,o} = -k_{x+d_x} \frac{\partial \left(T + \frac{\partial T}{\partial x} dx \right)}{\partial x} dydz = -k_{x+d_x} \left(\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx \right) dydz$$

Dengan asumsi bahwa konduktivitas termal dari elemen adalah konstan dalam suatu ruang sangat kecil sehingga $k_x = k_{x+dx}$, aliran panas menjalar pada volume kontrol arah- x adalah:

$$\Delta \dot{Q}_x = \dot{Q}_{x,i} - \dot{Q}_{x+d_x,o} = k_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx dydz = k_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dV$$



Gambar 3. Konduksi panas pada kontrol volume 3-D (Wang, 2002)

Demikian pula arus masuk melalui volume ke arah- y dan arah- z adalah :

$$\Delta \dot{Q}_y = k_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} dV$$

dan

$$\Delta \dot{Q}_z = k_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} dV$$

Menurut prinsip konservasi energi, persamaan konduksi panas *steady state* adalah

$$k_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$$

(3)

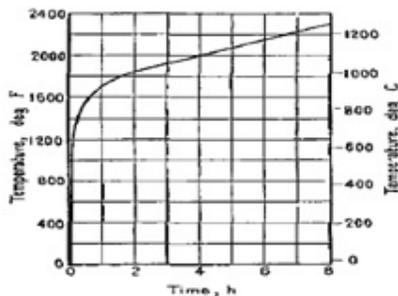
Konduksi Panas 3-Dimensi Kondisi Transien

Pada konduksi panas kondisi transien (*transient state*), suhu akan berubah seiring dengan waktu. Mengacu kontrol volume pada Gambar 5, total bersih energi untuk meningkatkan suhu diberikan berdasarkan $[\rho C (\partial t / t)] \times dV$, di mana ρ adalah densitas dan C panas spesifik dari volume control. Persamaan panas masuk ke aliran panas keluar pada konduksi panas *transient state* adalah:

$$k_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \rho C \frac{\partial T}{\partial t}$$

Standar Api ASTM E-119

ASTM E-119 merupakan *code* atau peraturan tentang standar pengujian api untuk konstruksi bangunan dan material di *United States*. Salah satu hal harus diperhatikan adalah ASTM ini merupakan sebuah petunjuk keamanan api untuk perancangan bangunan bukan sebagai prediksi perilaku struktur dalam kondisi mengalami api/kebakaran. Untuk melakukan pengujian api dari material ataupun konstruksi bangunan maka dipergunakan kurva temperatur-waktu (Gambar 4)

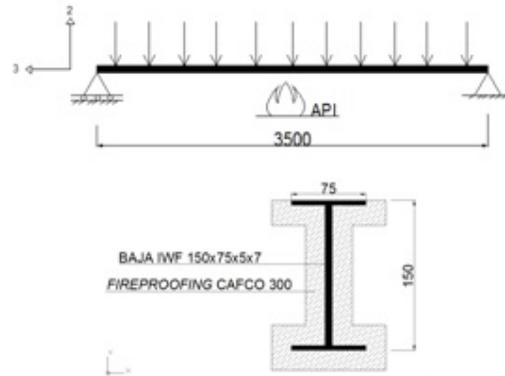


Gambar 4. Kurva temperatur-waktu (ASTM E-119)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menganalisis pengaruh temperatur balok baja sederhana IWF 150x75x5x7 (Gambar 5) menggunakan program berbasis metode elemen hingga Abaqus CAE 6.11-1. Pemodelan dibagi berdasarkan variasi jenis dan ketebalan

lapisan fireproofing.. Material baja bersifat non linier terhadap temperatur. Balok mengalami beban mekanik serta beban termal (ASTM E-119). Pengamatan dilakukan berdasarkan hasil distribusi temperatur, lendutan dan tegangan maksimum baja.



Gambar 5. Sketsa pemodelan balok baja dengan standar api ASTM E119 di tiga sisi

Sifat Material Baja

Berdasarkan CEN (2005) sifat material baja mengalami penurunan berdasarkan tingkat kenaikan temperatur. Gambar 6 merupakan input data material baja berupa hubungan tegangan-regangan, konduktivitas termal, panas spesifik serta modulus elastisitas baja dimana semua sifat material tersebut non linier terhadap temperatur . Secara umum sifat material baja meliputi :

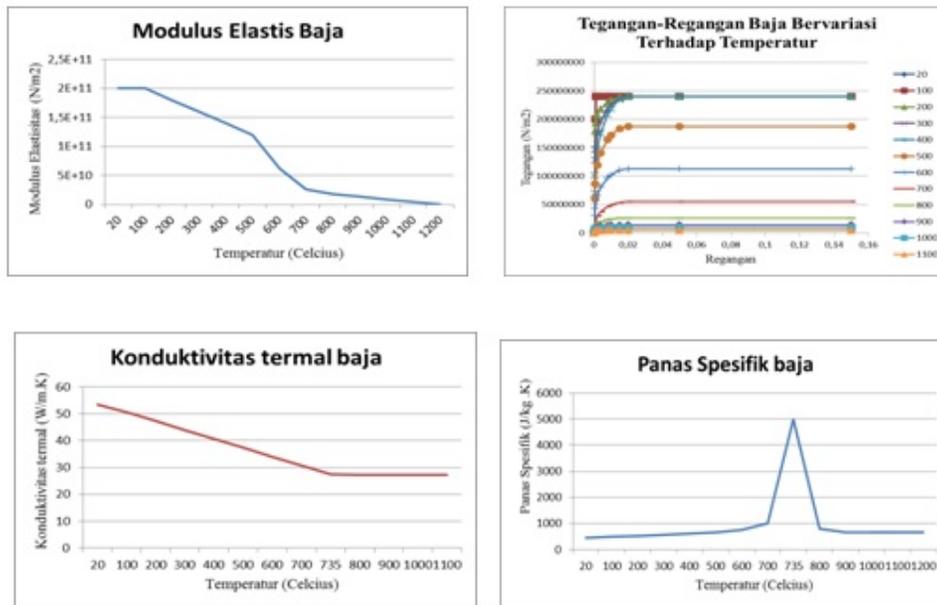
- Berat jenis : 7850 kg/m³
- Kuat leleh : 250 Mpa

Sifat Material fireproofing

Fireproofing penelitian ini berjenis spray applied materials yaitu CAFCO 300, Carboline Type 5 MD dan Typo WR-AFD dengan sifat termal konstan . Sifat material diperoleh dari hasil pengujian Kodur dan Shakya (2013) berupa berat jenis, konduktivitas termal serta panas spesifik. Tabel 1 menunjukkan sifat termal material fireproofing.

Tabel 1 . Sifat termal fireproofing konstan

Jenis fireproofing	Berat jenis (kg/m ³)	Konduktivitas termal (W/m.k)	Panas spesifik (J/kg.C)
CAFCO 300	298	0,07672	3319,2
Carboline Type-5MD	423,3	0,11462	2073
Typo WR-AFP	451.8	0.20064	681.6

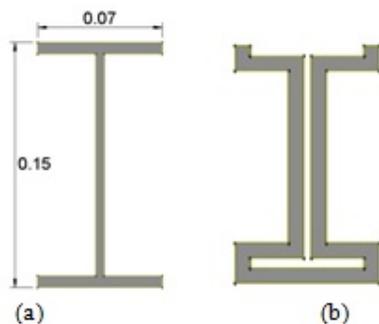


Gambar 6. Sifat material baja (Eurocode 3)

Pemodelan struktur

a. Modul Part

Modul Part adalah bagian dari modul untuk menggambar benda di dalam Abaqus CAE 6.11-1. Part dibuat 2 buah part yaitu baja IWF dan lapisan fireproofing dengan variasi ketebalannya. Baja IWF (Gambar 7.a) maupun fireproofing (Gambar 7.b) menggunakan 3D solid homogenous. Tipe elemen yang digunakan yakni C3D8T (*An 8-node thermally coupled brick, trilinear displacement and temperature*)



Gambar 7. (a) Sketsa baja dan (b) sketsa fireproofing

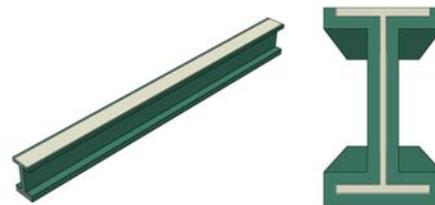
b. Modul Property

Modul Property berfungsi untuk memasukan sifat mekanis bahan, jenis material, kekuatan bahan, dan spesifikasi teknis dari material. Data material baja sesuai CEN 2005 dan

fireproofing sesuai hasil pengujian Khodur dan Shakya (2013).

c. Modul Assembly

Assembly adalah menyusun bagian-bagian komponen (instance part) menjadi satu kesatuan model sehingga memungkinkan untuk dilakukan analisis numerik. Gambar 8 merupakan hasil assembly dari baja dan fireproofing

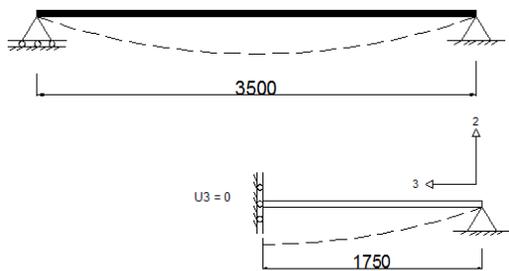


Gambar 8. Assembly baja dengan lapisan fireproofing

d. Modul Step

Step berfungsi untuk menentukan urutan langkah-langkah sebagai letak pemberian beban atau kecepatan. Penelitian ini menggunakan step coupled temperature-displacement dimana beban mekanik bekerja bersamaan dengan beban termalnya. Penentuan durasi waktu analisis serta jumlah increment juga perlu diperhatikan. Jumlah increment penelitian ini yaitu initial 1E-10 dengan minimal 1E-15.

- e. Modul Interaction
Interaction berfungsi untuk kontak antar material. Penelitian ini menggunakan pilihan tie-constraint antara baja dengan fireproofing. Baja sebagai master surface dan fireproofing sebagai slave surface. Pemilihan tie-constraint beranggapan dimana suhu permukaan fireproofing sama dengan suhu bagian permukaan baja.
- f. Modul Load
Load digunakan untuk memberikan beban, kecepatan dan kondisi batas pemodelan. Dalam pemodelan ini beberapa kondisi batas yaitu :
 - i. Panjang bentang hanya sebagian saja karena simetris sehingga untuk sisi bebas dikondisikan nilai $U_3 = 0$ atau tidak ada pergerakan ke arah memanjang. Sisi lainnya menggunakan pinned ($U_1=U_2=U_3=0$) seperti Gambar 9.
 - ii. di sepanjang bentang sayap atas, sayap bawah dan badan bagian tengah diberi kondisi batas $U_1 = 0$ karena sebagai anggapan pengekang lateral balok.



Gambar 9. Kondisi batas pemodelan

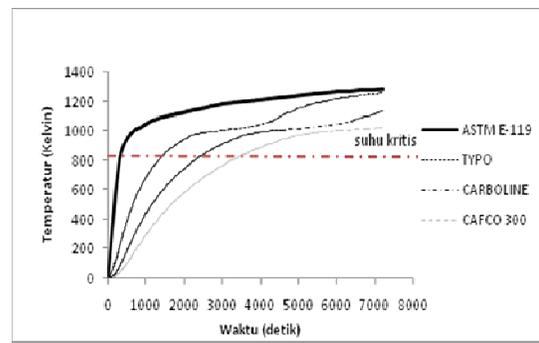
- iii. Beban mekanik (*pressure load*) sebesar 70.000 Pa Beban gravity digunakan arah Y sebagai berat sendiri dari balok dan lapisan fireproofing. Beban termal sesuai ASTM E-119 digunakan sebagai data amplitude jenis tabular di pemodelan Abaqus.
- g. Modul Mesh
Mesh berfungsi membagi geometri dari benda menjadi node dan elemen. Meshing dilakukan berkali-kali agar memperoleh nilai lendutan konvergen.
- h. Modul Job
Job berfungsi untuk melakukan proses running terhadap model. Setelah pemasukan

data selesai selanjutnya dilakukan proses penyelesaian secara numerik.

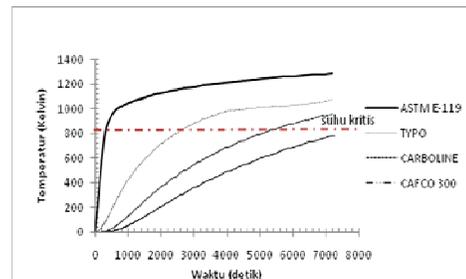
HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi Temperatur Penampang

Distribusi temperatur ditampilkan menggunakan grafik hubungan antara temperatur dengan waktu berdasarkan variasi jenis dan ketebalan fireproofing. Nilai temperatur diambil dari lokasi terjadinya temperatur maksimum penampang yakni di bagian sayap bawah baja. Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan distribusi temperatur baja menggunakan fireproofing tebal 10 mm dan 20 mm.



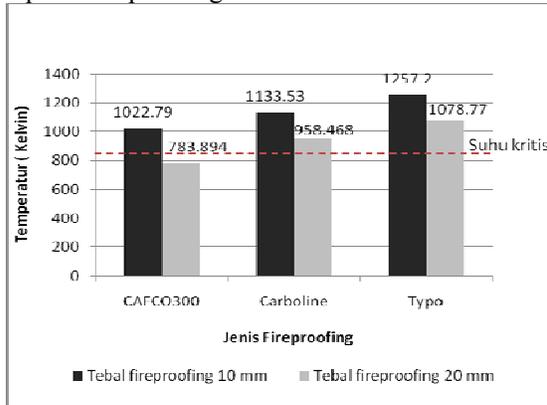
Gambar 10. Distribusi temperatur baja dengan ketebalan fireproofing 10 mm



Gambar 11. Distribusi temperatur baja dengan ketebalan fireproofing 20 mm

Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan distribusi temperatur baja menggunakan variasi fireproofing CAFCO 300, Carboline Type 5 MD dan Typo WR-AFP tebal 10 dan 20 mm selama 2 jam pemanasan (7200 detik) menggunakan standar ASTM E-119. Dalam gambar terlihat suhu baja tertinggi terjadi saat baja dilapisi fireproofing jenis TYPO WR-AFP dan terendah saat dilapisi fireproofing CAFCO 300. Hal ini disebabkan adanya perbedaan sifat material

fireproofing dimana nilai konduktivitas terbesar dimiliki TYPO WR-AFP dan terendah dimiliki CAFCO300 sehingga menyebabkan proses penyebaran panas pada baja menjadi lebih besar. Perbedaan ketebalan lapisan juga mempengaruhi besaran suhu baja. Gambar 12 menunjukkan perbedaan suhu maksimum saat 2 jam pemanasan berdasarkan variasi ketebalan dari lapisan fireproofing.



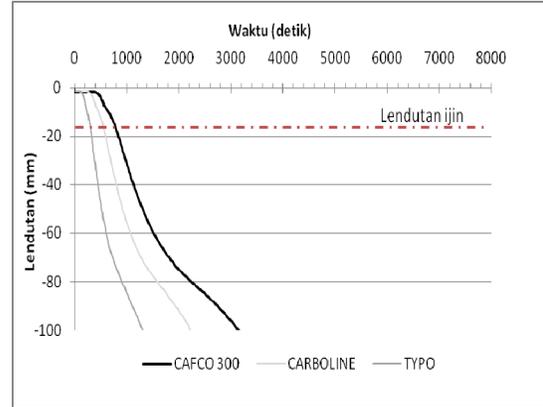
Gambar 12. Suhu maksimum baja saat 2 jam pemanasan

Gambar 12 menunjukkan perbedaan suhu maksimum baja berdasarkan variasi ketebalan lapisan fireproofing. Menurut Kodur dan Shakya (2013), baja mengalami penurunan kekuatan 50% sekitar suhu 843 K (550 oC) sehingga hanya baja dengan lapisan fireproofing CAFCO 300 tebal 20mm belum mencapai suhu 550 °C selama 2 jam.

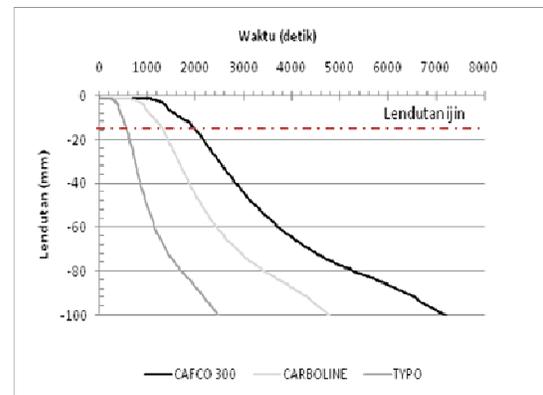
Lendutan struktur baja

Lendutan baja ditunjukkan dengan hubungan antara lendutan terhadap waktu berdasarkan variasi jenis dan tebal fireproofing. Nilai lendutan diambil di titik nodal di ujung bebas penampang baja arah Y sehingga dapat dibuat kurva antara hubungan waktu dengan lendutannya. Lendutan ijin (L/240) sebesar 0,0146 m (14,6 mm) digunakan sebagai batas lendutan ijin balok baja.

Gambar 13 dan Gambar 14 terlihat bahwa baja dengan lapisan fireproofing TYPO menghasilkan lendutan paling besar dibanding baja dengan lapisan fireproofing lainnya. Hal ini berbanding lurus sesuai dengan distribusi temperatur yang terjadi pada penampang baja. Temperatur tinggi mengakibatkan lendutan menjadi semakin besar.



Gambar 13. Lendutan baja dengan ketebalan 10 mm



Gambar 14. Lendutan baja dengan ketebalan 20 mm

Tabel 2 menunjukkan lendutan maksimum baja berdasarkan variasi jenis dan tebal fireproofing selama durasi waktu tinjau 2 jam. Ketebalan lapisan fireproofing memberikan efek signifikan dimana terjadi pengurangan lendutan baja.

Tabel 2. Lendutan maksimum baja saat waktu 2 jam

Jenis Fireproofing	Tebal (m)	
	10	20
CAFCO 300	-0,159	-0,101
Carboline Type 5 MD	-0,202	-0,137
Typo WR-AFP	-0,501	-0,179

Tabel 3. waktu saat dicapainya lendutan kritis (menit)

Jenis Fireproofing	Tebal (mm)	
	10	20
CAFCO 300	12,53	32,63
Carboline Type 5 MD	8,86	21,46
Typo WR-AFP	4,80	9,10

Tabel 3 menunjukkan waktu saat dicapainya lendutan ijin yaitu 0,0146 m. Terlihat bahwa untuk mencapai batas lendutan ijin, baja dengan fireproofing CAFCO 300 tebal 10 dan 20 mm berturut-turut terjadi saat 12,53 menit 32,63 menit. Baja dengan fireproofing Carboline Type 5 MD mencapai lendutan ijin sebesar 8,86 menit dan 21,46 menit saat tebal 10 dan 20 mm sedangkan baja dengan fireproofing Typo WR-AFD mengalami lendutan kritis dengan waktu tercepat yakni 4,80 menit saat tebal 10 mm dan 9,10 menit tebal 20 mm.

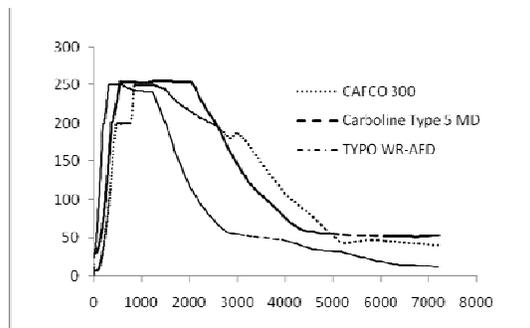
Tegangan maksimum baja

Nilai tegangan diambil berdasarkan nilai tegangan maksimum saat t= 2 jam. Pengambilan output tegangan di Abaqus menggunakan pilihan Von Mises dengan menentukan elemen integration point. Gambar 15 merupakan salah satu contoh lokasi tegangan maksimum saat t = 2 jam.

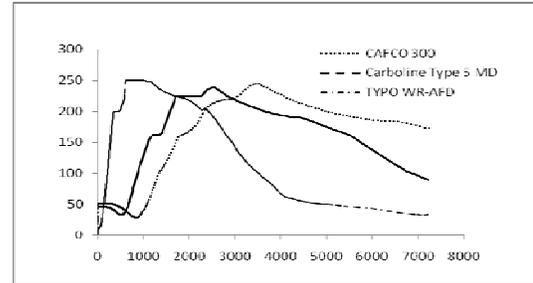


Gambar 15. Lokasi tegangan maksimum baja dengan lapisan fireproofing CAFCO300 tebal 10 mm

Gambar 16 dan Gambar 17 memperlihatkan diagram hubungan tegangan maksimum terhadap waktu dari baja berdasarkan variasi jenis dan ketebalan fireproofing.



Gambar 16. Diagram tegangan-waktu baja saat tebal fireproofing 10 mm



Gambar 17. Tegangan maksimum sifat termal fireproofing non linier

Tabel 4 menunjukkan waktu saat dicapainya tegangan leleh baja (Fy 250 MPa) selama durasi 2 jam pembakaran. Baja dengan lapisan fireproofing 10 mm mencapai tegangan leleh saat waktu 14,03 , 8,86 dan 5, 12 menit untuk fireproofing CAFCO 300, Carboline Type 5 MD dan Typo WR-AFD. Baja dengan tebal fireproofing 20 mm mengalami tegangan leleh hanya pada jenis Typo WR-AFD saat 10,22 menit. Hal tersebut diakibatkan oleh cepatnya proses perambatan suhu dari fireproofing ke struktur baja sehingga waktu saat tegangan leleh terjadi menjadi lebih cepat.

Tabel 4. Waktu saat tercapainya tegangan leleh baja (menit)

Jenis Fireproofing	Tebal (mm)	
	10	20
CAFCO300	14.03	-
Carboline Type 5 MD	8.86	-
Typo WR-AFD	5.12	10.22

KESIMPULAN DAN SARAN

- a) Suhu baja tertinggi terjadi saat baja dilapisi fireproofing jenis TYPO WR-AFP dan terendah saat dilapisi fireproofing CAFCO 300. Semakin tebal lapisan *fireproofing* maka temperatur baja menjadi semakin rendah karena ketebalan lapisan *fireproofing* mampu meredam kecepatan distribusi temperatur menuju penampang baja.
- b) Baja dengan lapisan fireproofing TYPO menghasilkan lendutan paling besar dibanding baja dengan lapisan fireproofing lainnya
- c) Baja dengan lapisan fireproofing Typo WR-AFD mengalami lendutan kritis dengan waktu tercepat yakni 4,80 menit

saat tebal 10 mm dan 9,10 menit tebal 20 mm

- d) Baja dengan lapisan fireproofing 10 mm mencapai tegangan leleh saat waktu 14,03 , 8,86 dan 5, 12 menit untuk fireproofing CAFCO 300, Carboline Type 5 MD dan Typo WR-AFD. Baja dengan tebal fireproofing 20 mm mengalami tegangan leleh hanya pada jenis Typo WR-AFD saat 10,22 menit

Saran pengembangan penelitian selanjutnya:

- a) Penghantaran panas beban termal dalam pemodelan ini bersifat konduksi di 3 sisi luar *fireproofing* sehingga distribusi temperatur baja menjadi lebih besar. Baiknya bila pengerjaan beban termal secara radiasi dimana sesuai dengan kondisi sebenarnya yaitu ada jarak tertentu antara titik api dengan elemen struktur.
- b) Bahan material *fireproofing* beragam jenisnya sehingga bisa dicoba dengan menggunakan jenis lainnya seperti pembungkus beton ataupun dengan perlindungan papan gipsum. Tentunya dengan bahan material berbeda menyebabkan metode perlindungan juga berbeda.
- c) Hubungan kurva temperatur-waktu sebagai beban termal juga dapat divariasikan selain ASTM E-119. Misalkan dengan kurva ISO

834 sehingga nanti dapat dibandingkan seberapa besar pengaruh perbedaannya terhadap distribusi temperatur baja.

- d) Struktur baja dapat diganti dengan beton atau elemen komposit sehingga pengaruh penggunaan *fireproofing* dapat diteliti.
- e) Perlu digunakan pemodelan kontak baja dengan *fireproofing* yang lebih akurat. Sebaiknya dilakukan eksperimen sebagai metode perbandingan dengan analisis numerik

DAFTAR PUSTAKA

- American Society For Testing and Materials. (2000). ASTM E119:Standard Test Methods for Fire Test of Building Construction and Materials. United States of America.
- European Committe for Standardization. (2005). Eurocode 3: Design of Steel Structure Part 1.2: General Rule Structural Fire Design. The Committe. Brussels.
- Kodur,V.K.R and Shakya A.M. (2013). "Effect of Temperature on Thermal Properties of Spray Applied Fire Resistive Materials". Fire Safety Journal 61. Page Paper 314-323..
- Wang, Y.C. (2002). Steel and Composite Structure: Behaviour and Design For Fire Safety. SPON PRESS. New York