

# LAPORAN PENELITIAN

## ***“Kajian Analisis Respon Struktur Bangunan Baja di Bawah Pengaruh Kombinasi Beban Termal (Kebakaran) d”***

Amatulhay Pribadi, MT



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
BANDUNG - 2019**



**YAYASAN PENDIDIKAN DAYANG SUMBI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL**  
**JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
Jl. Penghulu KH. Hasan Mustapa No. 23 Bandung 40124 Indonesia  
Telepon: +62-22-7272215, Fax: +62-22-7202892  
Website: <http://www.itenas.ac.id>, Email: [itenassipil@gmail.com](mailto:itenassipil@gmail.com)

---

## **RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil**

**Struktur | Transportasi | Geoteknik | Teknik Sumber Daya Air | Manajemen Rekayasa Konstruksi**

**SURAT KETERANGAN PENERIMAAN NASKAH**  
**JURNAL "REKARACANA: JURNAL TEKNIK SIPIL"**  
**NO.: 08/B.01/"RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil"**  
**/Teknik Sipil/Itenas/VIII/2019**

Tim Redaksi Jurnal "RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil" telah menerima artikel,

Identitas penulis:

Nama : **Amatulhay Pribadi**  
Asal instansi : Jurusan Teknik Sipil,  
Institut Teknologi Nasional – Bandung  
Email : [amatulhayp@gmail.com](mailto:amatulhayp@gmail.com)

Judul : Kajian Analisis Respon Struktur Bangunan Baja  
di Bawah Pengaruh Kombinasi Beban Termal (Kebakaran)  
dan Beban Angin

menyatakan bahwa:

**artikel tersebut telah diterima** sesuai Prosedur Penulisan Jurnal  
"RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil" Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi  
Nasional  
dan  
**akan diterbitkan** pada **Jurnal "RekaRacana: Teknik Sipil" Volume 5**  
**Nomor 3 Edisi 15** pada bulan Juni 2019 dengan penerbitan pada  
**September 2019.**

Demikian surat keterangan ini dibuat dan harap dipergunakan dengan sebaik-baiknya.

Bandung, 30 Agustus 2019  
Ketua Editor  
Jurnal "RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil"

*Maelifajati.*

(Nur Laeli Hajati, S.T., M.T.)  
NPP: 119950802

# Kajian Analisis Respon Struktur Bangunan Baja di Bawah Pengaruh Kombinasi Beban Termal (Kebakaran) dan Beban Angin

**AMATULHAY PRIBADI**

Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Bandung  
Email: amatulhayp@gmail.com

## **ABSTRAK**

*Beban termal yang terjadi pada bangunan dapat mengakibatkan degradasi pada struktur baja dan menyebabkan keruntuhan. Penelitian ini menganalisis pengaruh beban termal disertai beban angin terhadap respon dari struktur bangunan baja lima belas lantai yang berfungsi sebagai perkantoran dengan mempertimbangkan degradasi properti baja, reduksi beban hidup dan beban mati tambahan, serta kecepatan penanganan pemadaman. Simulasi terbagi menjadi tiga kasus yaitu penanganan pemadaman kebakaran cepat, penanganan pemadaman kebakaran lambat, dan penentuan beban termal kritis. Analisis struktur dilakukan dengan bantuan software ETABS. Hasil simulasi kebakaran menunjukkan semakin tinggi temperatur maka stress ratio dari elemen struktur makin membesar. Pada penentuan beban termal kritis diperoleh bahwa besar beban termal yang dapat menyebabkan minimal satu elemen struktur utama mengalami kegagalan pada umumnya berbeda pada lantai level bawah, tengah, dan atas. Pada studi kasus ini diperoleh beban temperatur kritis paling besar yaitu pada lantai level atas.*

**Kata kunci:** beban termal, degradasi properti baja, kegagalan struktur

## **ABSTRACT**

*Thermal load on the building can lead into the degradation of steel structure and cause collapse. This study analyze the effect of thermal along with wind loads on the response of fifteen stories steel structure building which serves as an office by considering the degradation of steel properties, the reduction of live load and super imposed dead load, and the speed of handling the extinguishing. This simulation is divided into three cases which are fast handling of extinguishing, slow handling of extinguishing, and the determination of the critical thermal load. Structural analysis will be done using the ETABS software. The result of fire simulation showed that when the temperature is higher, the stress ratio of structural elements will also expand. In the determination of the critical thermal load, it is obtained that the thermal loads which can cause failure in minimum one major structural element are generally different at the bottom, middle, and top level of stories. In this case study, the highest critical temperature load is on the top level.*

**Keywords:** thermal load, steel properties degradation, structure failure

## 1. PENDAHULUAN

Baja merupakan material yang memiliki kuat tarik, tekan, serta daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan material beton maupun kayu. Di sisi lain, baja memiliki kelemahan yaitu ketahanan yang rendah terhadap kebakaran. Temperatur yang tinggi dapat mereduksi kekuatan baja secara drastis. Setiap gedung memiliki potensi terjadinya kebakaran yang tidak nol dan dapat terjadi di lantai mana pun. Sementara ketika gedung tersebut direncanakan pada umumnya tidak diperhitungkan terhadap kombinasi beban kebakaran dan angin.

Kebakaran pada tingkat gedung yang berbeda pada umumnya akan memiliki kecepatan penanganan pemadaman yang berbeda pula. Meskipun pada studi ini hanya menggunakan gedung 15 lantai, namun dasar pemikirannya adalah gedung dengan lantai yang sangat tinggi sehingga perbedaan tinggi tiap lantai akan sangat berpengaruh terhadap kecepatan penanganan pemadaman dan harus dibedakan pada analisisnya. Akibatnya kebakaran pada lantai yang tinggi akan memakan waktu penanganan lebih lama. Kondisi demikian mengakibatkan kebakaran di lantai yang lebih tinggi akan memiliki beban termal yang lebih besar dibandingkan beban termal pada kebakaran di lantai bawah. Selain posisi atau tingkat dari lantai gedung, variasi besaran dari beban termal (kebakaran) juga dapat dipengaruhi oleh jenis dan fungsi dari gedung.

Oleh karena itu, dilakukan kajian mengenai respon dari struktur baja yang mendapat tambahan beban dari beban termal (kebakaran) dan beban angin yang turut muncul saat terjadinya kebakaran agar fenomena tersebut dapat diantisipasi.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Perencanaan Struktur Baja

Analisis kapasitas kekuatan baja dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-1729-2002 dan tahapan perhitungan menurut Setiawan, A. (2008). Kekuatan baja pada keadaan batas ultimit diperoleh dari perkalian kekuatan nominal dengan faktor reduksi kekuatan. Pengecakan kapasitas kekuatan baja yang ditinjau yaitu sebagai berikut.

#### 2.1.1 Kekuatan Lentur

Setiap komponen struktur yang memikul momen lentur harus memenuhi persyaratan pada **Persamaan 1**.

$$\phi_b M_n \geq M_u \quad \dots (1)$$

dengan:

$\phi_b$  = faktor reduksi untuk lentur = 0,9,  
 $M_n$  = kuat nominal momen lentur dari penampang [kNm],  
 $M_u$  = beban momen lentur terfaktor [kNm].

#### 2.1.2 Kekuatan Geser

Kekuatan geser desain diperoleh dengan mengalikan kuat geser nominal  $V_n$  dengan faktor reduksi  $\phi_v$  sebesar 0,9.

### 2.1.3 Kekuatan Tekan

Kemampuan komponen struktur untuk menahan gaya tekan akibat beban terfaktor  $N_u$  yaitu sesuai **Persamaan 2**. Besaran  $\omega$  dan  $\lambda_c$  dapat dihitung berdasarkan **Persamaan 3 hingga Persamaan 6**.

$$N_u \leq \phi N_n = \phi (A_g f_{cr}) = \phi \left( A_g \frac{f_y}{\omega} \right) \quad \dots (2)$$

$$\omega = 1 \quad \text{untuk} \quad \lambda_c = \frac{1}{\pi} \frac{L_k}{r} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad \dots (3)$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c} \quad \text{untuk} \quad 0,25 < \lambda_c < 1,2 \quad \dots (4)$$

$$\omega = 1,25 \lambda_c^2 \quad \text{untuk} \quad \lambda_c > 1,2 \quad \dots (5)$$

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \frac{L_k}{r} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad \dots (6)$$

dengan:

- $\phi$  = 0,85;
- $N_u$  = beban terfaktor [kN];
- $N_n$  = kuat tekan nominal komponen struktur [kN];
- $f_y$  = tegangan leleh [MPa];
- $E$  = modulus elastisitas [MPa];
- $L_k$  = panjang efektif kolom [m];
- $r$  = jari-jari girasi [m].

### 2.1.4 Kekuatan Tarik

Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial terfaktor harus memenuhi **Persamaan 7** dengan  $\phi T_n$  merupakan kuat tarik rencana yang besarnya diambil sebagai nilai terendah di antara **Persamaan 8** dan **Persamaan 9** berikut ini:

$$T_u \leq \phi T_n \quad \dots (7)$$

$$\phi T_n = 0,9 A_g f_y \quad \dots (8)$$

$$\phi T_n = 0,75 A_e f_u \quad \dots (9)$$

dengan:

- $A_g$  = luas penampang bruto [mm<sup>2</sup>],
- $A_e$  = luas penampang efektif [mm<sup>2</sup>],
- $f_u$  = tegangan tarik putus [MPa].

## 2.2 Fenomena Penjalaran Api Saat Kebakaran Gedung Terjadi

Arah penjalaran kebakaran dipengaruhi oleh lidah api dan materi yang menjalarkan panas. Sifat dari penjalaran ini biasanya ke arah vertikal. Namun saat penjalaran mencapai batas tertentu, api akan mulai menjalar ke arah horizontal. Oleh sebab itu, biasanya pada gedung-gedung bertingkat tinggi api akan menjalar ke tingkat yang lebih tinggi dari asal api tersebut.

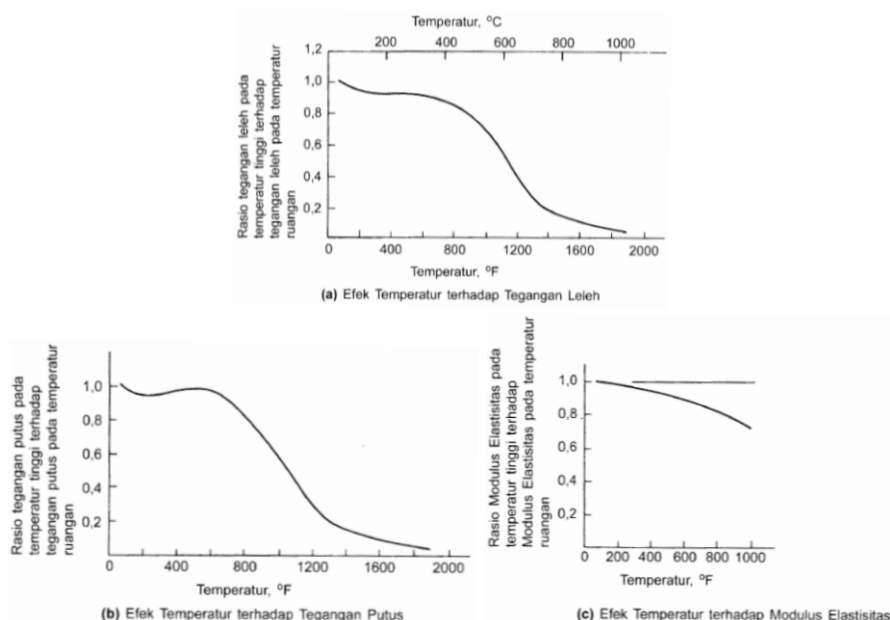
Penjalaran ke tingkat atas dalam bangunan dapat disebabkan oleh lidah api yang muncul pada *opening* seperti jendela. Apabila suatu benda berada di dekat jendela, maka akan memungkinkan lidah api tersedot kedalam ruangan melalui jendela yang terbuka atau pecah dan kemudian menyebabkan benda tersebut mengalami penyalan. Setiyarto, Y.D. (2010) menyebutkan bahwa dimensi dari jendela akan mempengaruhi bentuk dari lidah api.

Semakin ke atas tingkat lantai yang dicapai lidah api, maka temperaturnya akan makin menurun.

Temperatur lidah api yang keluar melalui jendela berukuran 2 m \* 6,4 m yaitu sebesar 600°C. Namun temperatur lidah api tersebut setelah mencapai bagian bawah jendela lantai atasnya akan turun menjadi 500°C dan kemudian 300°C untuk lantai atasnya lagi. Untuk temperatur lidah api di bawah 300°C hanya mengandung asap dan panas sedangkan temperatur lidah api antara 300-600°C sudah tergolong berbahaya dan memungkinkan terjadinya penjarangan kebakaran.

### 2.3 Perilaku Baja terhadap Kenaikan Temperatur

Baja pada temperatur sekitar 93°C memiliki kurva tegangan-regangan yang sudah tidak linear dengan titik leleh yang secara bertahap menghilang. Modulus elastisitas, tegangan leleh, dan tegangan tarik akan mengalami reduksi seiring dengan kenaikan temperatur. Penurunan sifat mekanik akan mencapai tingkat maksimum pada temperatur antara 430-540°C. Hubungan antara kenaikan temperatur dengan reduksi sifat-sifat mekanik baja secara umum dapat ditunjukkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1. Efek kenaikan temperatur terhadap sifat mekanik material baja**

### 3. METODOLOGI

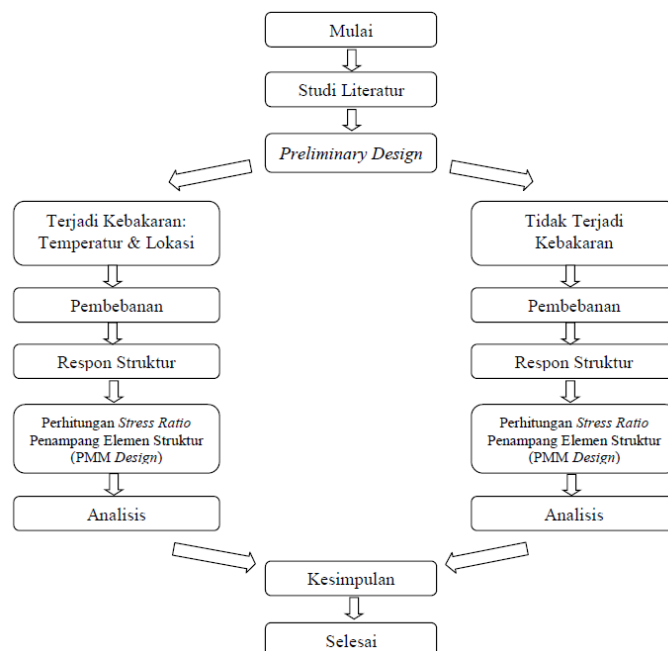
Metode yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian adalah dengan membandingkan respon struktur di saat terjadinya kebakaran dengan temperatur dan lokasi kebakaran yang berbeda-beda. Perencanaan awal dari struktur bangunan baja dilakukan sesuai dengan SNI 1727:2013 dan SNI 1726:2012 menggunakan *software* ETABS 9.7.4. Selanjutnya komponen struktur menggunakan profil baja ASTM tersebut diteliti kapasitasnya di saat sebelum dan sesudah terjadinya kebakaran sesuai peraturan SNI 03-1729-2002. Tinjauan pustaka dilakukan untuk menentukan penurunan propertis baja sesuai **Tabel 1** dan **Tabel 2** yang mengacu pada buku "Design Guide 19: Fire Resistance of Structural Steel Framing" (Ruddy, J.L., et al, 2003). Setelah melakukan analisis struktur dengan mengambil beberapa asumsi penjarangan kebakaran, perbandingan hasil respon struktur dianalisis untuk diambil kesimpulan. Tahapan pengerjaan tersebut dirangkum dalam **Gambar 2**.

**Tabel 1. Penurunan Modulus Elastisitas dan Kuat Leleh Baja pada Kenaikan Temperatur**

Temperatur Baja [°C]	$E_M/E$	$f_{ym}/f_y$
20	1,00	1,00
93	1,00	1,00
204	0,90	1,00
316	0,78	1,00
399	0,70	1,00
427	0,67	0,94
538	0,49	0,66
649	0,22	0,35
760	0,11	0,16
871	0,07	0,07
982	0,05	0,04
1090	0,02	0,02
1200	0,00	0,00

**Tabel 2. Modulus Elastisitas dan Kuat Leleh Baja BJ 37**

Temperatur Baja [°C]	$f_y$ [MPa]	$E$ [MPa]
300	191,31	200.000,00
400	167,74	199.571,43
500	132,39	151.171,17
600	81,41	97.369,37
700	40,67	52.540,54
800	22,94	25.513,51
900	15,55	12.432,43



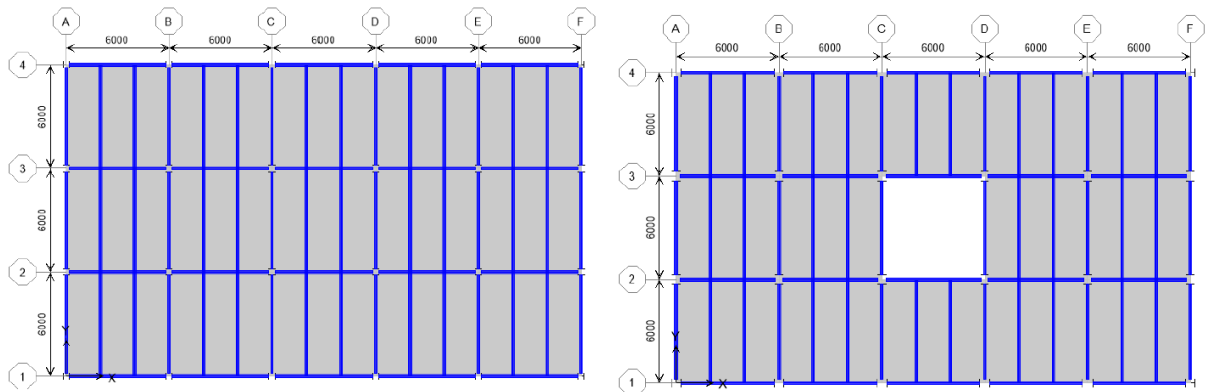
**Gambar 2. Flowchart metodologi penelitian**

## 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

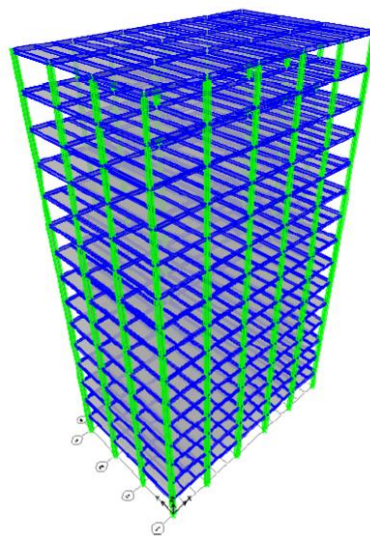
### 4.1 Desain Struktur Baja dan Pembebanan

Desain struktur elemen baja pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-1729-2002 "Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung". Selain itu, peraturan-peraturan lain yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah SNI 1726:2012 "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung" serta Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung 1987.

Struktur gedung yang ditinjau berfungsi sebagai gedung perkantoran setinggi 15 lantai dengan tinggi antar lantai sebesar 3,5 meter. Struktur ini memiliki bentang 30 meter pada arah X dan 18 meter pada arah Y. Jarak antar kolom yaitu 6 meter baik pada arah X maupun Y sedangkan jarak antar balok anak yang dipasang paralel arah Y sebesar 2 meter seperti dapat dilihat pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**. Gedung ini akan dibangun di kota Bandung dengan kondisi tanah sedang dan dimodelkan menggunakan software ETABS 9.7.4. Analisis struktur dilakukan pada penelitian ini untuk mengecek nilai periode struktur, gaya geser dasar, simpangan antar lantai, modal partisipasi massa, gaya dalam, dan *stress ratio* elemen struktur.



**Gambar 3. Denah bangunan lantai atap (kiri) dan lantai tipikal (kanan)**



**Gambar 4. Tampak 3 dimensi bangunan 15 lantai**

Profil ASTM yang digunakan pada balok struktur gedung ini yaitu:  
(a) balok induk = W16x36



(b) balok anak = W10x26

Profil ASTM yang digunakan pada kolom struktur gedung ini yaitu:

- (a) kolom lantai 11–15 = W12x72
- (b) kolom lantai 6–10 = W14x132
- (c) kolom lantai 1–5 = W14x93

Dimensi pelat yang digunakan pada struktur gedung ini adalah pelat beton setebal 100 mm.

#### 4.2 Pembebanan saat Kebakaran

Kombinasi pembebanan pada saat kebakaran terjadi di mana beban mati dan beban angin bekerja 100% sedangkan beban hidup direduksi sesuai dengan kondisi kebakaran. Pada simulasi kebakaran ini kombinasi pembebanan yang digunakan pada program ETABS 9.7.4 yaitu seperti pada **Persamaan 10**.

$$SIMCOMB = 1.0 DL + \alpha SIDL + \beta LL + 1.0 W \quad \dots (10)$$

keterangan:

- $DL$  = beban mati,
- $SIDL$  = beban mati tambahan,
- $LL$  = beban hidup,
- $W$  = beban angin,
- $\alpha$  = koefisien beban mati tambahan saat terjadi kebakaran (**Tabel 4**),
- $\beta$  = koefisien beban hidup saat terjadi kebakaran (**Tabel 3**).

Beban angin turut diperhitungkan dalam analisis struktur saat kebakaran karena berdasarkan kondisi faktual di lapangan, terjadinya kebakaran sering diikuti oleh datangnya angin. Arah angin ditinjau dalam arah sumbu X dan Y. Asumsi reduksi beban hidup serta beban mati tambahan dapat dilihat pada **Tabel 3 hingga Tabel 6**. Pada penelitian ini tidak terdapat literatur yang mengatur mengenai pembebanan saat bangunan terbakar sehingga dalam mengambil nilai besar pembebanannya harus diasumsikan penulis berdasarkan rasionalitas agar dapat dilakukan analisis saat keadaan struktur sedang mengalami kebakaran.

**Tabel 3. Asumsi Beban Hidup Non-orang Saat Terjadi Kebakaran ( $\beta$ )**

Segmen Lantai	Penanganan Pemadaman Cepat			Penanganan Pemadaman Lambat		
	Lantai	Temperatur	Beban LL Furnitur	Lantai	Temperatur	Beban LL Furnitur
Atas	11	700° C	50,0 kg/m <sup>2</sup>	12	800° C	42,5 kg/m <sup>2</sup>
				11	900° C	35,0 kg/m <sup>2</sup>
Tengah	7	500° C	65,0 kg/m <sup>2</sup>	8	600° C	57,5 kg/m <sup>2</sup>
				7	700° C	50,0 kg/m <sup>2</sup>
Bawah	3	300° C	80,0 kg/m <sup>2</sup>	4	400° C	72,5 kg/m <sup>2</sup>
				3	500° C	65,0 kg/m <sup>2</sup>

\*) asumsi beban hidup non-orang saat operasional = 100 kg/m<sup>2</sup>

**Tabel 4. Asumsi Persentase Beban Mati Tambahan Saat Terjadi Kebakaran ( $\alpha$ )**

Segmen Lantai	Penanganan Pemadaman Cepat			Penanganan Pemadaman Lambat		
	Lantai	Temperatur	Beban SIDL	Lantai	Temperatur	Beban SIDL
Atas	11	700° C	70%	12	800° C	65%
				11	900° C	60%
Tengah	7	500° C	80%	8	600° C	75%
				7	700° C	70%
Bawah	3	300° C	90%	4	400° C	85%
				3	500° C	80%

**Tabel 5. Asumsi Beban SIDL untuk Penanganan Pemadaman Cepat**

Segmen Lantai	Penanganan Pemadaman Cepat			
	Lantai	Temperatur	Beban SIDL pada Lantai	Beban SIDL pada Dinding Perimeter
Atas	11	700° C	71,0 kg/m <sup>2</sup>	306,3 kg/m <sup>2</sup>
Tengah	7	500° C	81,6 kg/m <sup>2</sup>	350,0 kg/m <sup>2</sup>
Bawah	3	300° C	91,8 kg/m <sup>2</sup>	394,0 kg/m <sup>2</sup>

**Tabel 6. Asumsi Beban SIDL untuk Penanganan Pemadaman Lambat**

Segmen Lantai	Penanganan Pemadaman Lambat			
	Lantai	Temperatur	Beban SIDL pada Lantai	Beban SIDL pada Dinding Perimeter
Atas	12	800° C	66,3 kg/m <sup>2</sup>	284,4 kg/m <sup>2</sup>
	11	900° C	61,2 kg/m <sup>2</sup>	262,5 kg/m <sup>2</sup>
Tengah	8	600° C	76,5 kg/m <sup>2</sup>	328,1 kg/m <sup>2</sup>
	7	700° C	71,0 kg/m <sup>2</sup>	306,3 kg/m <sup>2</sup>
Bawah	4	400° C	87,0 kg/m <sup>2</sup>	371,9 kg/m <sup>2</sup>
	3	500° C	81,6 kg/m <sup>2</sup>	350,0 kg/m <sup>2</sup>

### 4.3 Simulasi Analisis Kebakaran

Simulasi kebakaran dilakukan dengan *software* ETABS 9.7.4 dengan memerhatikan pembebanan serta kapasitas penampang pada saat terjadinya kebakaran. Setiap sampel kasus diberi kode tertentu dengan ketentuan T sebagai besaran temperatur kebakaran dan L sebagai lokasi atau lantai terjadinya kebakaran. Pembagian kasus simulasi dapat dilihat pada **Tabel 7**. Pengamatan *stress ratio* penampang akan dilakukan pada elemen struktur utama yaitu balok induk dan kolom sehingga harus diperhatikan properti mekanik dari elemen-elemen tersebut saat terjadi kebakaran.

**Tabel 7. Pembagian Kasus Simulasi**

No.	Kasus	Temperatur Kebakaran [°C]	Lokasi Kebakaran [Lantai]
1	Tidak Terjadi Kebakaran		
2	Penanganan Pemadaman Kebakaran Cepat	T300L3	3
3		T500L7	7
4		T700L11	11

**Tabel 7. Pembagian Kasus Simulasi lanjutan**

No.	Kasus		Temperatur Kebakaran [°C]	Lokasi Kebakaran [Lantai]
5	Penanganan Pemadaman Kebakaran Lambat	T500L3	500	3
6		T700L7	700	7
7		T900L11	900	11
8		T300L3	300	3
9	Penentuan Beban Termal Kritis	T400L3	400	
10		T500L3	500	
11		T530L3	530	
12		T300L7	300	7
13		T400L7	400	
14		T500L7	500	
15		T525L7	525	
16		T300L11	300	11
17		T400L11	400	
18		T500L11	500	
19		T520L11	520	

#### 4.3.1 Tidak Terjadi Kebakaran

Pembebanan saat tidak terjadi kebakaran yaitu kondisi operasional sehingga beban hidup yang bekerja diasumsikan 60% dari 250 kg/m<sup>2</sup> yaitu 150 kg/m<sup>2</sup>. Beban hidup orang diasumsikan sebesar 50 kg/m<sup>2</sup> sedangkan beban hidup non-orang memiliki besar 100 kg/m<sup>2</sup>. Propertis mekanik bahan masih belum mengalami penurunan yaitu  $f_y = 240$  MPa dan  $E = 200.000$  MPa. Berdasarkan analisis *software* ETABS dan hasil perhitungan *stress ratio* penampang, diperoleh total *stress ratio* maksimum untuk penampang seperti pada **Tabel 8**.

**Tabel 8. Stress Ratio Penampang Saat Tidak Terjadi Kebakaran**

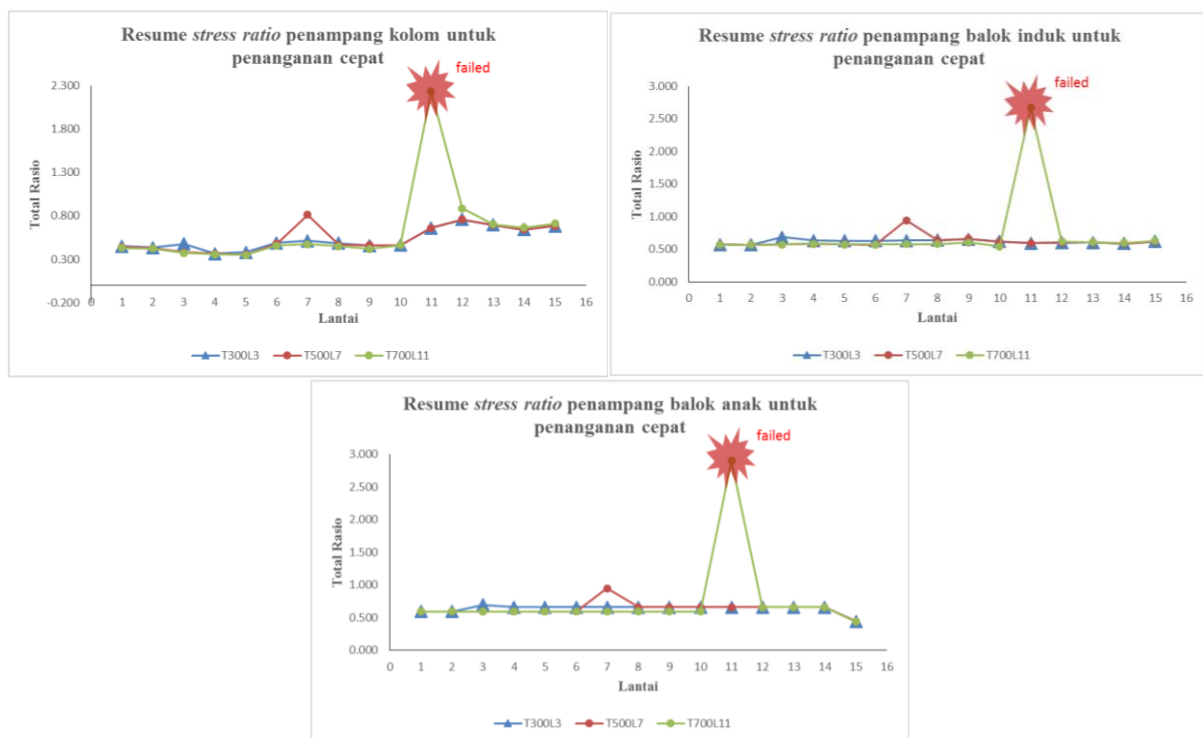
Lantai	Kolom	Balok Induk	Balok Anak
1	0,458	0,630	0,660
2	0,453	0,622	0,660
3	0,400	0,630	0,660
4	0,384	0,640	0,660
5	0,375	0,632	0,660
6	0,491	0,630	0,660
7	0,513	0,637	0,660
8	0,484	0,640	0,660
9	0,458	0,659	0,660
10	0,462	0,621	0,660
11	0,659	0,594	0,660
12	0,758	0,602	0,660
13	0,697	0,602	0,660
14	0,641	0,590	0,660
15	0,684	0,623	0,442

#### 4.3.2 Penanganan Pemadaman Kebakaran Cepat

*Stress ratio* penampang pada kolom maupun balok saat kebakaran terjadi pada **Gambar 5** terlihat bahwa terdapat loncatan pada masing-masing kurva. Titik yang terlihat mencolok di atas dari masing-masing kurva menggambarkan kondisi penampang elemen struktur saat kondisi kebakaran. Untuk kasus beban  $300^{\circ}\text{C}$  pada lantai 3 loncatan tersebut tidak terlalu besar sedangkan untuk kasus beban  $500^{\circ}\text{C}$  pada lantai 7 dan  $700^{\circ}\text{C}$  pada lantai 11 mulai sangat terlihat loncatannya. Hal ini disebabkan selain adanya penurunan kekuatan baja akibat kenaikan temperatur juga karena adanya penurunan pembebanan pada lantai terjadinya kebakaran. Beban hidup manusia berkurang akibat proses evakuasi sedangkan beban hidup non-orang seperti furnitur, dokumen, dan bahan lain-lain terbakar dan berubah wujud menjadi abu.

Pada simulasi ini parameter beban termal berbeda pada masing-masing lantai akibat pengaruh kecepatan pemadaman. Selain beban termal, lokasi juga mempengaruhi pola pembebanan saat terjadi kebakaran terutama beban hidup. Lokasi kebakaran dapat menentukan mudah atau tidaknya dalam proses evakuasi orang-orang. Apabila lokasi kebakaran pada lantai bawah, maka proses evakuasi akan lebih sulit dibanding dengan lantai atas.

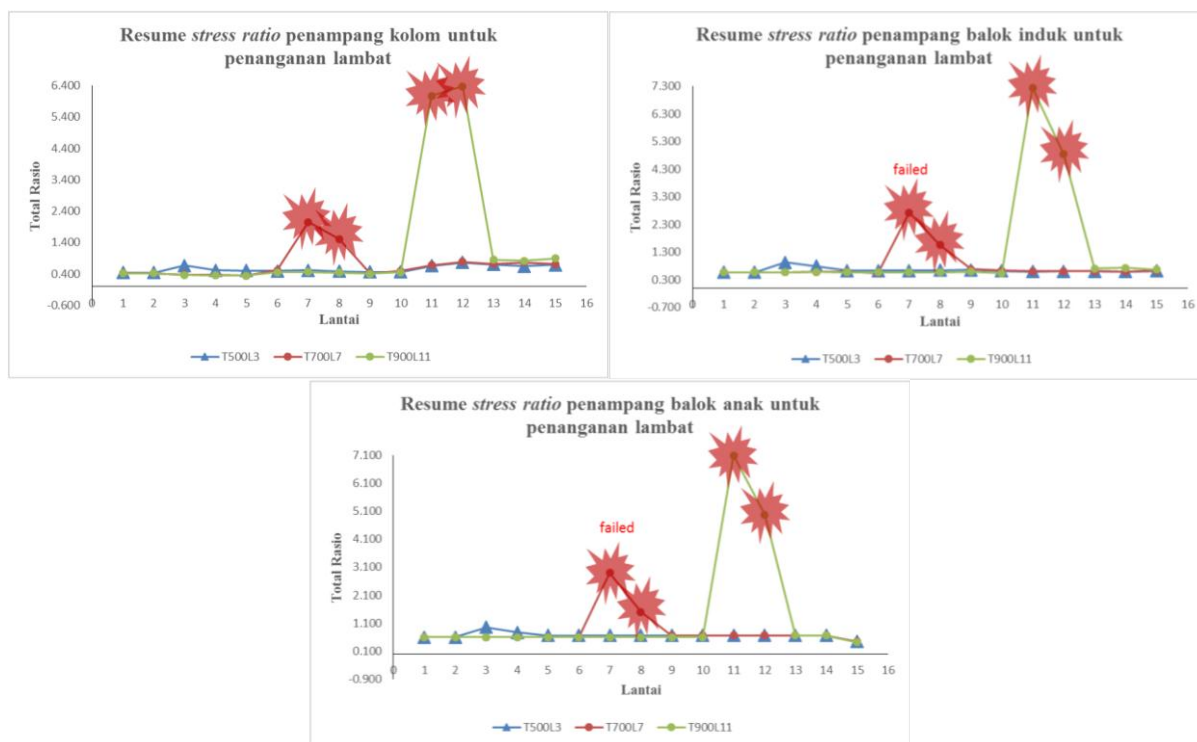
*Stress ratio* penampang elemen struktur pada kasus kebakaran di lantai bawah dan tengah mengalami kenaikan namun masih dibawah batas nilai 1 atau belum mengalami kegagalan. Sedangkan untuk kasus kebakaran di lantai atas, *stress ratio* penampang naik dengan signifikan hingga lebih dari 1 baik pada kolom maupun balok. Hal ini disebabkan adanya penurunan propertis mekanik dari baja menjadi cukup rendah sehingga elemen struktur sudah tidak mampu lagi memikul gaya dalam yang terjadi. Elemen struktur yang mengalami kegagalan sejumlah 22 kolom, 30 balok induk, dan 28 balok anak.



**Gambar 5. Resume *stress ratio* penampang untuk penanganan cepat**

#### 4.3.3 Penanganan Pemadaman Kebakaran Lambat

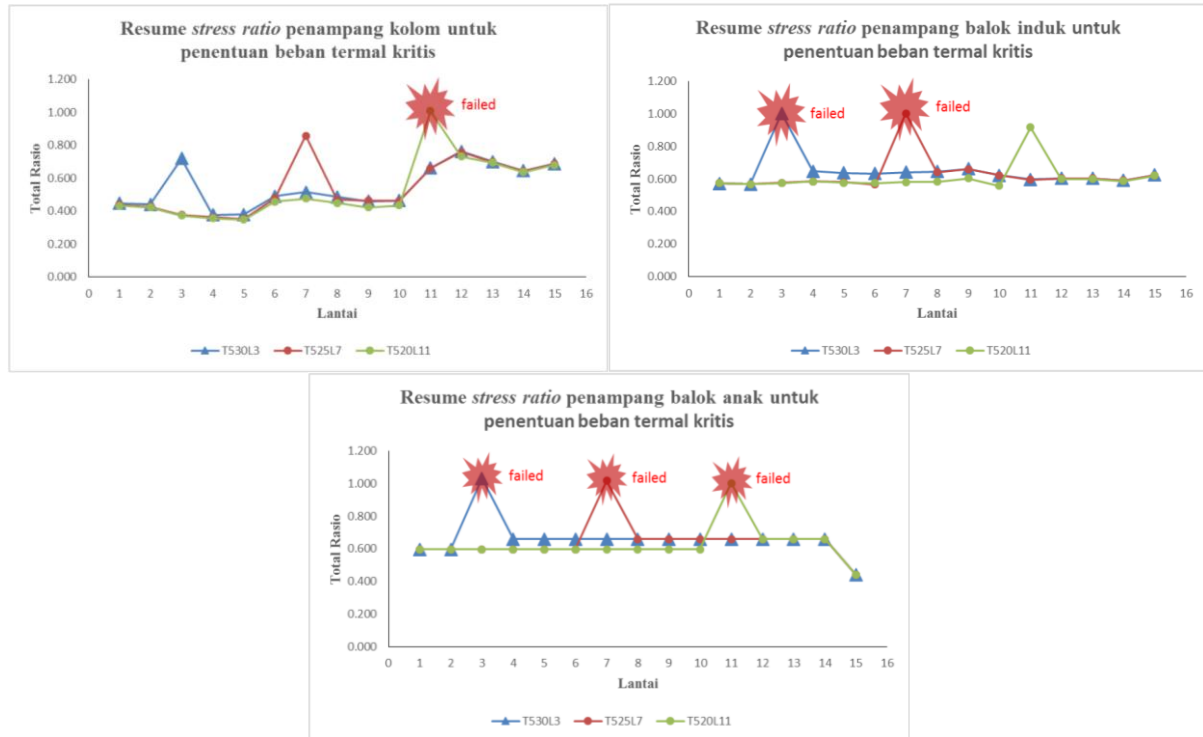
Pemadaman kebakaran pada simulasi ini ditangani dengan lambat sehingga temperatur kebakaran cukup tinggi dan sudah menjalar ke satu tingkat lantai yang lebih tinggi. Untuk temperatur  $500^{\circ}\text{C}$  pada lantai 3, elemen struktur masih mampu menahan gaya dalam yang bekerja. Namun pada temperatur  $700^{\circ}\text{C}$  pada lantai 7 dan  $900^{\circ}\text{C}$  pada lantai 11, properti mekanik baja sudah menurun dengan sangat drastis sehingga *stress ratio* penampang elemen struktur naik cukup tinggi terutama pada kasus lantai atas yang *stress ratio*-nya mencapai 7. Pada temperatur  $900^{\circ}\text{C}$ , modulus elastisitas baja dan kuat leleh yang tersisa hanya 12.432 MPa dan 15,55 MPa. Akibatnya seluruh elemen struktur (100%) pada lantai tersebut mengalami kegagalan seperti terlihat pada **Gambar 6**.



**Gambar 6. Resume *stress ratio* penampang untuk penanganan lambat**

#### 4.3.4 Penentuan Beban Termal Kritis

Berdasarkan hasil simulasi pada **Gambar 7** diperoleh bahwa besar beban kritis akan berbeda untuk tiap lokasi lantai terjadinya kebakaran. Semakin tinggi suatu lantai maka besar beban termalnya akan semakin kecil. Pada kasus struktur ini besar beban termal yang diperoleh yaitu  $530^{\circ}\text{C}$  untuk lantai bawah,  $525^{\circ}\text{C}$  untuk lantai tengah, dan  $520^{\circ}\text{C}$  untuk lantai atas. Pada temperatur-temperatur tersebut dihasilkan *stress ratio* penampang yang lebih dari 1. Hal ini disebabkan properti mekanik baja yang sudah menurun cukup drastis dan menyebabkan elemen struktur sudah tidak mampu memikul gaya dalam yang terjadi. Beban temperatur kritis paling kecil diperoleh pada lantai paling atas disebabkan karena saat kondisi normal atau tidak terjadi kebakaran, ukuran profil kolom yang digunakan pada lantai atas memiliki *stress ratio* yang paling besar dibandingkan profil kolom lantai tengah dan bawah. Sehingga saat terjadi kebakaran, kolom paling atas lah yang mengalami kegagalan terlebih dahulu.



**Gambar 7. Resume *stress ratio* penampang untuk penentuan beban termal kritis**

## 5. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Besar temperatur kebakaran dan posisi terjadinya sangat mempengaruhi ketahanan dari struktur bangunan baja. Kekuatan penampang elemen struktur baja yang ditinjau dalam penelitian ini yaitu balok dan kolom mengalami degradasi yang sangat signifikan. *Stress ratio* penampang makin membesar seiring dengan naiknya temperatur. Pada kasus penanganan pemadaman cepat, kebakaran di lantai bawah dan tengah belum menghasilkan elemen struktur mengalami kegagalan. Sedangkan untuk kebakaran di lantai atas, *stress ratio* sudah naik dengan signifikan hingga lebih dari 1. Jumlah elemen struktur yang mengalami kegagalan pada kasus ini yaitu 22 kolom, 30 balok induk, dan 28 balok anak.
- Pada kasus penanganan pemadaman lambat, kebakaran di lantai bawah masih belum menghasilkan *stress ratio* lebih dari 1. Namun untuk kebakaran pada lantai tengah dan atas, *stress ratio* naik dengan sangat drastis hingga mencapai 7. Seluruh kolom dan balok pada lantai 11 dan 12 mengalami kegagalan akibat kebakaran di lantai atas dengan temperatur 900°C tersebut.
- Beban temperatur kritis untuk lantai level bawah, tengah, dan atas dapat disimpulkan pada umumnya memiliki besar yang berbeda dan semakin kecil seiring dengan bertambah tingginya lantai. Besar beban temperatur kritis yang diperoleh yaitu 530°C untuk lantai 3, 525°C untuk lantai 7, dan 520°C untuk lantai 11.
- Hasil analisis respon struktur ini hanya berlaku untuk studi kasus pada tugas akhir ini saja.

## DAFTAR RUJUKAN

- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-1729-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1987). *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- Ruddy, J.L. et al. (2003). *Design Guide 19: Fire Resistance of Structural Steel Framing*. United States of America: American Institute of Steel Construction.
- Setiawan, A. (2008). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Setiyarto, Y.D. (2010). *Fenomena pada Kebakaran Gedung*. Majalah Ilmiah Unikom [Online]. Vol 4.102-103.