

ANALISIS NUMERIK PENGARUH SUHU TINGGI TERHADAP MOMEN KAPASITAS PENAMPANG ELEMEN BALOK BETON BERTULANG

Florisa¹⁾, Reni Suryanita²⁾, Zulfikar Djauhari²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email : florisa.f@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The heat during the fire will change the nominal moment capacity of reinforced concrete (RC) beam. The purpose of this study is to identify the nominal moment capacity of RC beam due to exposure of high temperatures with the heating temperatures of 500°C, 700°C, 800°C, and 1000°C. The duration of the heating time in each temperature is 0,5 hours, 1 hour, 1,5 hours, 2 hours, 3 hours, and 4 hours. In this study, the moment capacity was calculated by using the cross-section reduction method proposed in Eurocode EN 1992 1-2 (2004). The concrete strength and the yield strength of material used in this study was 35 MPa and 400 MPa, respectively. The results showed that the residual moment capacity of RC beam at temperature of 500°C was 95.835%, at temperature of 700°C was 82.255%, at temperature of 800°C was 71.238% , and at a temperature of 1000°C was 51.743% from the moment capacity of the normal concrete strength.

Keywords : high-temperature, reinforced concrete beam, Isotherm 500°C, moment capacity.

A. PENDAHULUAN

Semenjak manusia mengenal teknik dan rekayasa konstruksi, struktur bangunan tidak luput dari resiko kecelakaan ataupun bencana, salah satunya adalah peristiwa kebakaran. Peristiwa kebakaran tersebut dapat mempengaruhi kestabilan elemen-elemen struktur gedung akibat terpaparnya suhu tinggi pada elemen tersebut. Contoh peristiwa yang berkaitan adalah peristiwa kebakaran pada ruang reaktor nuklir, serta peristiwa suhu ekstrim pada daerah tertentu.

Elemen-elemen struktur beton bertulang pada gedung diantaranya adalah balok, kolom, dan pelat lantai. Temperatur yang tinggi saat kebakaran akan memberikan pengaruh yang besar pada kekuatan elemen struktur. Perubahan kekuatan pada beton tidak hanya dipengaruhi oleh suhu tinggi akibat

kebakaran, tapi juga dipengaruhi oleh durasi waktu kebakaran.

Beton bertulang memiliki daya tahan api yang baik. Walaupun daya tahan beton terhadap api relatif baik, namun saat terbakar beton akan menyerap panas sehingga terjadi peningkatan suhu yang tinggi. Suhu yang tinggi inilah yang menyebabkan kerusakan pada beton bertulang, sehingga menimbulkan penurunan kekuatan pada komponen struktur tersebut. Suhu tinggi akan menyebabkan berubahnya kapasitas elemen struktur dalam menerima beban.

Pada penelitian ini, dilakukan analisis perhitungan momen kapasitas pada penampang elemen balok beton bertulang yang dipanaskan pada variasi suhu 500°C, 700°C, 800°C, dan 1000°C dengan durasi waktu 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam, 2 jam, 3

jam, dan 4 jam. Elemen balok beton bertulang yang digunakan adalah balok dengan dimensi penampang 200 x 400 mm dan panjang balok 3 m, serta mutu beton 35 MPa dan mutu tulangan 400 MPa.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Thermal Conductivity dan Specific Heat pada Beton

Konduktivitas thermal merupakan fenomena transport dimana perbedaan temperatur mengakibatkan adanya transfer energi thermal dari satu benda panas ke daerah yang sama pada suhu yang lebih rendah (Intansari, 2012).

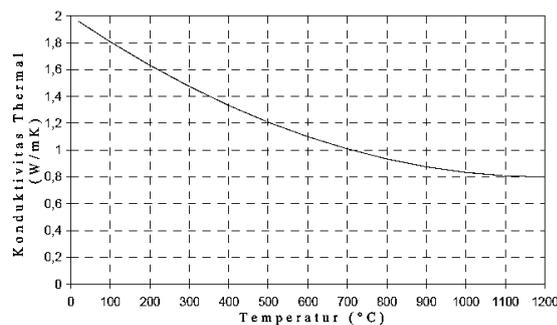
Nilai konduktivitas thermal pada beton silika merupakan fungsi dari temperatur yang dinyatakan oleh persamaan berikut dengan grafik hubungan nilai konduktivitas thermal dan suhu pada Gambar 1.

$$\lambda_c = 2 - 0,24 \frac{T}{120} + 0,012 \left(\frac{T}{120} \right)^2 \quad (1)$$

dengan:

λ_c = konduktivitas thermal (W/mK)

T = temperatur (°C)



Gambar 1. Grafik Hubungan Thermal Conductivity terhadap Suhu pada Beton

Sumber : EN 1992-1-2, 2004

Sedangkan nilai *specific heat* merupakan karakteristik yang menggambarkan jumlah input panas yang dibutuhkan untuk menaikkan satu satuan massa material satu satuan temperatur dan dinyatakan pada persamaan (2). Berdasarkan Eurocode, persamaan tersebut

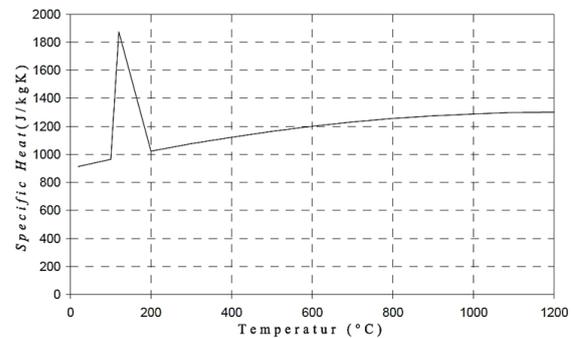
valid untuk beton silika dan beton kapur (EN 1992-1-2, 2004).

$$c_c = 900 + 80 \frac{T}{120} - 4 \left(\frac{T}{120} \right)^2 \quad (2)$$

dengan:

c_c = *specific heat* (J/kgK)

T = temperatur (°C)



Gambar 2. Grafik Hubungan Specific Heat terhadap Suhu pada Beton

Sumber : EN 1992-1-2, 2004

B.2 Thermal Conductivity dan Specific Heat pada Baja

Nilai *thermal conductivity* pada tulangan baja dapat dihitung dengan rumus berikut, dengan grafik hubungan *thermal conductivity* dan temperatur dapat dilihat pada Gambar 3.

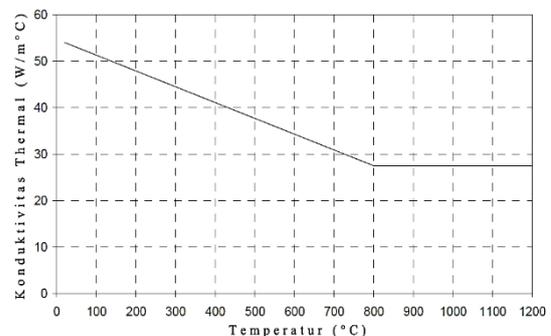
$$\lambda_a = 54 - 3,33 \times 10^{-2} T \quad \text{untuk } 20^\circ\text{C} \leq T \leq 800^\circ\text{C} \quad (3)$$

$$\lambda_a = 27,3 \quad \text{untuk } 800^\circ\text{C} \leq T \leq 1200^\circ\text{C} \quad (4)$$

dengan:

λ_a = Thermal conductivity (W/mK)

T = Suhu pada baja (°C)



Gambar 3. Grafik Hubungan Thermal Conductivity terhadap Suhu pada Baja

Sumber : EN 1993-1-2, 2005

Sedangkan nilai *specific heat* pada tulangan baja dapat dihitung dengan rumus berikut, dengan grafik hubungan *thermal conductivity* dan temperatur dapat dilihat pada Gambar 4.

$$c_a = 425 + 7,73 \times 10^{-1} T - 1,69 \times 10^{-3} T^2 + 2,22 \times 10^{-6} T^3$$

untuk $20^\circ\text{C} \leq T \leq 600^\circ\text{C}$ (5)

$$c_a = 666 + \frac{13002}{738 - T}$$

untuk $600^\circ\text{C} \leq T \leq 735^\circ\text{C}$ (6)

$$c_a = 545 + \frac{17820}{T - 731}$$

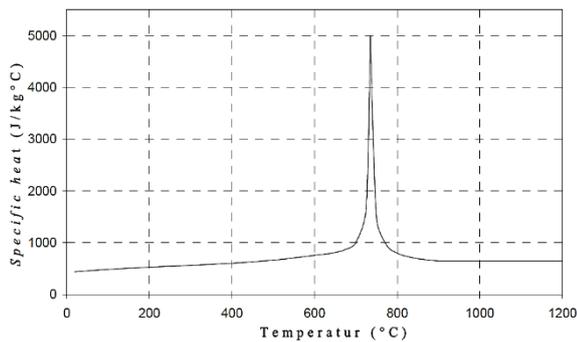
untuk $735^\circ\text{C} \leq T \leq 900^\circ\text{C}$ (7)

$$c_a = 650 \text{ untuk } 900^\circ\text{C} \leq T \leq 1200^\circ\text{C} \text{ (8)}$$

dengan:

c_a = *specific heat* pada baja (J/kgK)

T = Suhu pada baja ($^\circ\text{C}$)



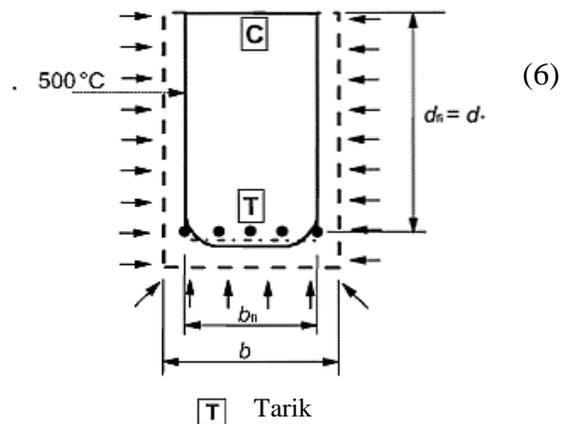
Gambar 4. Grafik Hubungan *Specific Heat* terhadap Suhu pada Baja
Sumber : EN 1993-1-2, 2005

B.3 Metode Reduksi Penampang (*Isotherm 500°C*)

EN 1992-1-2 (2004) mencantumkan metode yang digunakan untuk menentukan ketahanan penampang pada balok yang dipanaskan, salah satunya adalah metode *isotherm 500°C*. Metode ini pertama kali dikemukakan oleh Anderberg pada tahun 1978.

Metode reduksi penampang meliputi reduksi ukuran penampang balok sehubungan dengan zona rusak panas di permukaan beton. Beton yang rusak, yaitu beton dengan suhu lebih dari 500°C , diasumsikan tidak berkontribusi pada

kapasitas beban elemen, sementara sisa penampang beton mempertahankan nilai awal kekuatan dan modulus elastisitasnya. Perhitungan digunakan dengan asumsi bahwa beton dibawah suhu 500°C masih memiliki kekuatan yang sama dengan beton suhu normal dan tidak terpengaruh oleh panas (Purkiss dan Li, 2013).



Gambar 5. Paparan Suhu Tinggi pada Tiga Sisi Balok dengan Tulangan Tarik
Sumber : EN 1992-1-2, 2004

Adapun rumus momen kapasitas penampang balok $M_{u,f}$ pada suhu tinggi dengan durasi tertentu, yaitu:

$$M_{u,f} = A_{si} f_{s,fi}(\theta) [h - a - 0,4x'] \quad (9)$$

dengan:

$$A_{si} f_{s,fi}(\theta) = A_{si} \times k_s(\theta) \times f_y \quad (10)$$

$$x' = \frac{A_{si} f_{s,fi}(\theta)}{0,8 \times f_{cd}(20) \times b_{fi}} \quad (11)$$

C. METODOLOGI PENELITIAN

Perhitungan momen kapasitas penampang balok menggunakan metode reduksi penampang (*isotherm 500°C*). Adapun langkah perhitungan menggunakan metode *isotherm 500°C* adalah sebagai berikut.

1. Menentukan nilai α_r yaitu perbandingan nilai *thermal conductivity* (α) dan nilai referensi α_c . Menentukan nilai *thermal diffusivity* (α) dimana nilainya dipengaruhi oleh *thermal conductivity* (λ_c), nilai *specific heat* (c_c), dan berat jenis beton (ρ_c) pada suhu tertentu, dengan persamaan:

$$\alpha = \frac{\lambda_c}{\rho_c \times c_c} \quad (12)$$

Nilai referensi α_c adalah $417 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

- Menentukan nilai rasio antara temperatur pemanasan pada permukaan balok dengan suhu atmosfer, dimana nilainya dipengaruhi oleh durasi paparan suhu tinggi (t) dengan persamaan:

$$n_w = 1 - 0,0616t^{-0,88} \quad (13)$$

- Menentukan letak posisi *isotherm* 500°C atau x_{500} , yaitu lebar reduksi penampang akibat suhu tinggi 500°C atau lebih. Adapun rumus menentukan posisi x_{500} adalah:

$$x_{500} = \sqrt{\frac{\frac{\alpha}{0,417 \times 10^{-6}} \times t}{\exp\left(4,5 + \frac{\theta_x}{0,18 \times n_w \times \theta_f}\right)}} \quad (14)$$

Dengan nilai θ_x adalah suhu 500°C , sedangkan θ_f adalah suhu tinggi yang terpapar pada balok.

- Menentukan temperatur tulangan akibat suhu tinggi pada setiap durasi yang telah ditentukan, dengan rumus yang digunakan adalah:

$$T(x, y) = [n_w(n_x + n_y - 2n_x n_y) + n_x n_y] \theta_f \quad (15)$$

Dengan parameter n_w , n_x , dan n_y menggunakan rumus sebagai berikut:

$$n_w = 1 - 0,0616t^{-0,88} \quad (16)$$

$$n_x = 0,18 \ln u_x - 0,81 \quad (17)$$

$$u_x = \frac{\alpha}{\alpha_c} \times \frac{t}{x^2} \quad (18)$$

Nilai x dan y yang digunakan merupakan posisi dari tulangan pada penampang, sehingga untuk nilai n_y menggunakan rumus yang sama dengan n_x .

- Menentukan nilai penurunan kekuatan pada tulangan tarik akibat suhu tinggi $k_s(\theta)$ berdasarkan EN 1992-1-2 (2004).
- Menentukan nilai jarak sumbu efektif a , dengan rumus:

$$a = \frac{\Sigma[a_i k_s(\theta_i)]}{k_s(\theta_i)} \quad (19)$$

- Menentukan nilai b_{fi} , yaitu lebar penampang setelah tereduksi, dengan rumus:

$$b_{fi} = b - 2x_{500} \quad (20)$$

- Menentukan nilai $A_{sif_{s,fi}}(\theta)$ dengan rumus:

$$A_{sif_{s,fi}}(\theta) = A_{si} \times k_s(\theta) \times f_y \quad (21)$$

- Menentukan nilai x' dengan rumus:

$$x' = \frac{A_{sif_{s,fi}}(\theta)}{0,8 \times f_{cd}(20) \times b_{fi}} \quad (22)$$

Dengan nilai A_{si} adalah luas total tulangan, dan $f_{cd}(20)$ adalah nilai kuat tekan beton normal.

- Menentukan momen kapasitas penampang balok $M_{u,f}$ pada suhu tinggi dengan durasi tertentu, yaitu:

$$M_{u,f} = A_{sif_{s,fi}}(\theta)[h - a - 0,4x'] \quad (23)$$

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Nilai Momen Kapasitas Penampang pada Berbagai Suhu Pemanasan

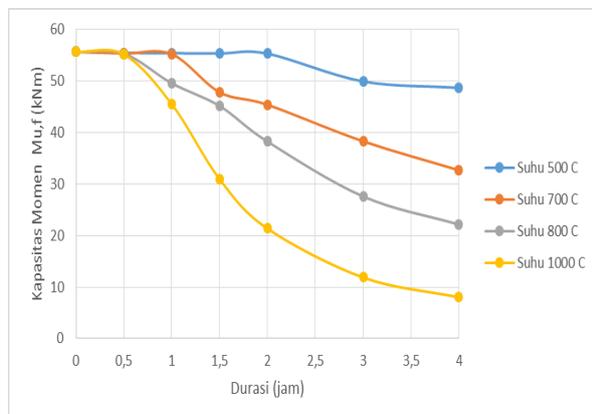
Adapun nilai momen kapasitas penampang pada balok beton bertulang yang dipanaskan ($M_{u,f}$) pada suhu 500°C , 700°C , 800°C , dan 100°C dengan durasi pemanasan setiap suhunya adalah 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Momen Kapasitas Penampang dengan Variasi Suhu Tinggi

Suhu ($^\circ\text{C}$)	t (jam)	$M_{u,f}$ (kNm)
500 $^\circ\text{C}$	0,5	55,485
	1	55,425
	1,5	55,379
	2	55,340
	3	49,942
	4	48,708
700 $^\circ\text{C}$	0,5	55,378
	1	55,247
	1,5	47,851
	2	45,408
	3	38,315
	4	32,695

Suhu (°C)	t (jam)	$M_{u,f}$ (kNm)
800°C	0,5	49,586
	1	45,176
	1,5	38,262
	2	55,321
	3	27,594
1000°C	4	22,139
	0,5	55,209
	1	45,540
	1,5	30,947
	2	21,361
	3	11,854
	4	8,013

Sedangkan kurva hubungan antara momen kapasitas penampang dan durasi pemanasan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan Momen Kapasitas Penampang dan Durasi Pemanasan Balok pada Setiap Suhu Tinggi

D.2 Nilai Persentase Momen Kapasitas Sisa Penampang dan Durasi Pemanasan Balok pada Berbagai Suhu Pemanasan

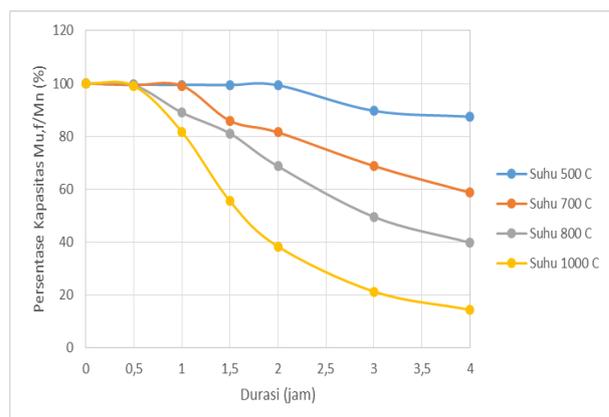
Berdasarkan perhitungan momen kapasitas penampang balok pada suhu normal sebelum pemanasan, momen kapasitas adalah sebesar 55,7 kNm.

Adapun nilai persentase perbandingan momen kapasitas penampang sebelum dan setelah pemanasan pada setiap suhu tinggi dan durasi waktu pemanasan atau momen kapasitas sisa penampang ($M_{u,f}/M_n$) pada suhu 500°C, 700°C, 800°C, dan 1000°C dengan durasi pemanasan setiap suhunya adalah 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Persentase Momen Kapasitas Sisa Penampang pada Berbagai Suhu Pemanasan

Suhu (°C)	t (jam)	$M_{u,f} / M_n$ (%)	Rata-Rata $M_{u,f} / M_n$ (%)
500°C	0,5	99,615	95,835
	1	99,507	
	1,5	99,424	
	2	99,353	
	3	89,662	
700°C	4	87,447	82,255
	0,5	99,421	
	1	99,187	
	1,5	85,909	
	2	81,523	
800°C	3	68,788	71,238
	4	58,699	
	0,5	99,320	
	1	89,024	
	1,5	81,107	
1000°C	2	68,694	51,743
	3	49,540	
	4	39,746	
	0,5	99,119	
	1	81,759	
	1,5	55,560	
	2	38,351	
	3	21,283	
	4	14,386	

Sedangkan kurva hubungan antara persentase momen kapasitas sisa penampang dan durasi pemanasan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan Persentase Momen Kapasitas Sisa Penampang dan Durasi Pemanasan Balok pada Setiap Suhu Tinggi

Berdasarkan kurva hubungan antara persentase momen kapasitas penampang

sisanya dan durasi pemanasan gabungan tiap suhu tinggi pada Gambar 7, dapat dilihat bahwa semakin bertambah durasi waktu pemanasan, maka momen kapasitas penampang balok juga semakin menurun dari kondisi momen kapasitas normal sebelum pemanasan. Kenaikan suhu pemanasan juga menyebabkan penurunan momen kapasitas penampang. Semakin tinggi suhu pemanasan, maka akan semakin signifikan penurunan kapasitas penampang pada balok terhadap kenaikan durasi pemanasan.

Dari hasil perhitungan yang telah diperoleh, dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata persentase momen kapasitas penampang sisa pada suhu 500°C adalah sebesar 95,835%, pada suhu 700°C adalah sebesar 82,255%, pada suhu 800°C adalah sebesar 71,238%, dan pada suhu 1000°C adalah sebesar 51,743% dari momen kapasitas normal.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan setelah melakukan perhitungan menggunakan metode reduksi penampang (*isotherm 500°C*) dengan standar Eurocode EN 1992-1-2 (2004), dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin bertambah suhu serta durasi waktu pemanasan, maka momen kapasitas penampang balok akan semakin menurun dari kondisi momen kapasitas normal sebelum pemanasan.
2. Nilai rata-rata persentase momen kapasitas penampang sisa pada suhu 500°C adalah sebesar 95,835%, pada suhu 700°C adalah sebesar 82,255%, pada suhu 800°C adalah sebesar 71,238%, dan pada suhu 1000°C adalah sebesar 51,743% dari momen kapasitas normal.

E.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah analisis dapat dilakukan dengan

menggunakan variasi mutu beton atau mutu tulangan lainnya serta dengan menggunakan material lainnya, agar dapat mengetahui pengaruh suhu tinggi terhadap momen kapasitas balok pada variasi material lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- EN 1992 1-2. (2004). Eurocode 2: Design of Concrete Structures - Part 1-2: General Rules - Structural Fire Design. *Design of Concrete Structures - Part 1-2: General Rules-Structural Fire Design*, 2(2004), 1–99.
- EN 1993-1-2. (2005). Eurocode 3: Design of Steel Structures - Part 1-2: General Rules - Structural Fire Design. *British Standards Institution*, 2(2005).
- Intansari, W. R. O. (2012). Pemanfaatan Program Bantu Analisa Struktur LUSAS untuk Mengevaluasi Ketahanan Api Elemen Struktur Beton Bertulang pada Contoh Kasus ACI 216R-89, 1–26.
- Purkiss, J., & Li, L. (2013). *Fire Safety Engineering Design of Structures*.