

ANALISIS PENINGKATAN SUHU PADA KOLOM SAAT TERBAKAR MENGGUNAKAN LUSAS V16

Rahmiasari¹⁾, Reni Suryanita²⁾, Enno Yuniarto²⁾

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 : rahmiasari.r@student.unri.ac.id

ABSTRACT

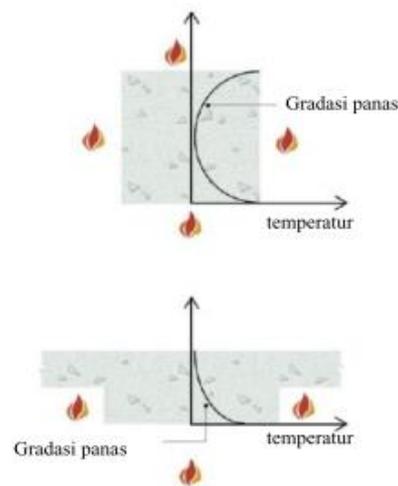
Fire is one of the factors causing failure in the reinforce concrete. The surface of the concrete will become black due to significant increase in the temperature. Cracks occur of an imbalance in volume changes exist between cement paste and aggregate. This study aims to analyze the effect of the rate of changes in temperature on the RC during the fire. The method used is to analyze the rate of changes in temperature according to ASTM E-119 standard. Analysis was conducted by using finite element software, LUSAS v.16. The column specimen used in this study had rectangular ratio of 350 mm × 600 mm with the length of 4000 mm. The amount of longitudinal bars was 10D19, while the yield strength of bars and the concrete strength was 400 MPa and 45 MPa, respectively. The column element burned with a duration of 4 hours. The results showed there was a difference in term of temperature change's rate between LUSAS v.16 and manual calculation was 3,7%. This research can be used as a reference on designing fireproof buildings so as to prevent building collapse during a fire.

Keywords : ASTM E-119, rate of temperature, LUSAS v.16

A. PENDAHULUAN

Kebakaran merupakan salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada struktur konstruksi. Saat terjadi kebakaran, maka beton mengalami kenaikan suhu secara signifikan. Pada situasi ini, beton mengalami penurunan daya dukung terhadap beban yang ada sehingga mengakibatkan struktur tidak dapat bekerja secara maksimal.

Penurunan daya dukung beton terhadap beban tidak seragam pada seluruh penampang elemen. Bagian terluar dari elemen menerima panas yang lebih besar dibandingkan dengan bagian terdalam. Kecepatan peningkatan suhu akibat kebakaran pada suatu elemen menjadi salah satu faktor cepat lambatnya perubahan daya dukung elemen tersebut. Gambar 1 menunjukkan bagaimana gradasi panas pada suatu penampang balok dan kolom saat terjadi kebakaran.



Gambar 1. Gradasi Panas pada Penampang Balok dan Kolom Saat Terjadi Kebakaran (Latip, 2016)

Fokus penelitian ini adalah untuk menganalisis kecepatan peningkatan suhu yang terjadi pada kolom menggunakan metode wickstrom dan program LUSAS v16.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Pengaruh Peningkatan Suhu Terhadap Beton

Pada rentang suhu 400-600°, beton keras terhidrasi akan kehilangan air dalam kalsium hidroksida Ca(OH)_2 bebas sehingga komposisi berubah menjadi CaO yang tidak mempunyai kekuatan. Suhu diatas 600°C atau 700°C akan menyebabkan perubahan komposisi unsur hasil hidrasi lainnya, sehingga menyebabkan kekuatan beton hilang sama sekali. Apabila suhu dinaikkan mencapai 1000°C, akan terjadi penurunan rekatan antara batuan dan pasta semen, yang dimulai dengan retak-retak dan kerapuhan beton (Latip, 2016).

Thermal Conductivity beton normal bervariasi sesuai aliran panasnya. Nilai *thermal conductivity* cenderung menurun seiring dengan peningkatan suhu. Nilai *thermal conductivity* akan semakin rendah apabila suhu kebakaran semakin tinggi. Nilai konduktivitas thermal pada beton silika merupakan fungsi dari temperatur yang dinyatakan oleh persamaan berikut:

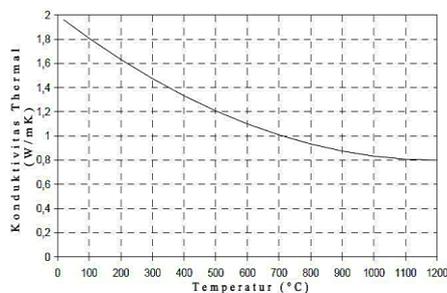
$$\lambda_c = 2 - 0,24 \frac{\theta}{120} + 0,012 \left(\frac{\theta}{120} \right)^2 \quad (1)$$

Dimana:

λ_c = konduktivitas thermal (W/mK)

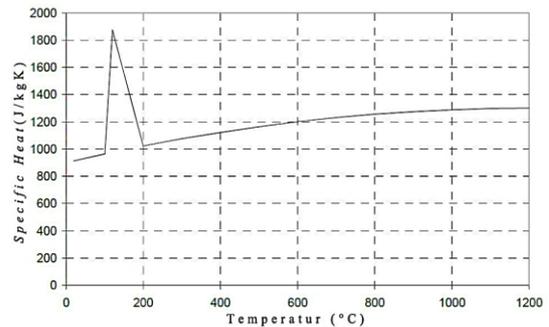
θ = temperatur (°C)

Grafik hubungan *thermal conductivity* dan suhu pada beton dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan *Thermal Conductivity* Terhadap Suhu pada Beton (Lie, 1992)

Grafik hubungan antara *specific heat* pada beton terhadap suhu memiliki nilai *specific heat* terbesar atau kondisi puncak pada suhu 150°C seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan *Specific Heat* Terhadap Suhu pada Beton (Lie, 1992)

Menurut EN 1992-1-2, 2004, nilai *specific heat* adalah fungsi dari temperatur dan dinyatakan pada persamaan di bawah ini:

- a. $20^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 100^\circ\text{C}$

Maka, $c_c(\theta_c) = 900$ (2)

- b. $100^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 200^\circ\text{C}$

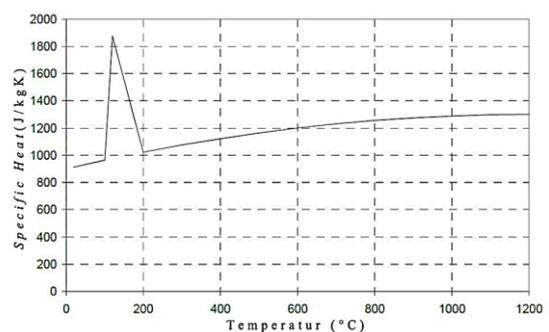
Maka, $c_c(\theta_c) = 900 + (\theta_c - 100)$ (3)

- c. $200^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 400^\circ\text{C}$

Maka, $c_c(\theta_c) = 1000 + \frac{\theta_c - 200}{2}$ (4)

- d. $400^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 200^\circ\text{C}$

Maka, $c_c(\theta_c) = 1100$ (5)

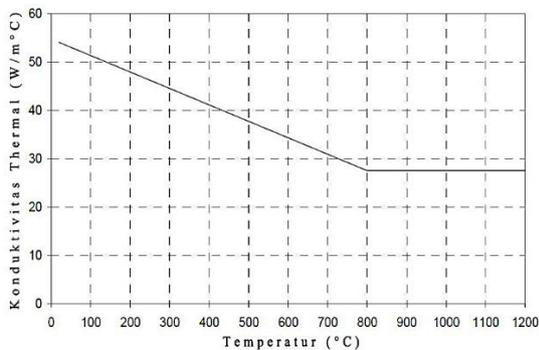


Gambar 4. Grafik Hubungan *Specific Heat* Terhadap Suhu pada Beton (Lie, 1992)

B.2 Pengaruh Peningkatan Suhu pada Baja

Pada temperatur tinggi, pemuaian baja tulangan lebih besar dibandingkan dengan betonnya sendiri. Saat temperatur lebih tinggi, terjadi retak dan pecah di sekeliling tulangan. Gejala tersebut dapat diikuti dengan tertekuknya baja tulangan (Sutapa & Rosita, 2012).

Sifat material yang mempengaruhi kenaikan suhu dan distribusi baja struktur adalah *thermal conductivity* dan *specific heat*. Gambar 5. memperlihatkan *thermal conductivity* terhadap suhu pada baja.



Gambar 5. Grafik Hubungan *Thermal Conductivity* Terhadap Suhu pada Baja (Lie, 1992)

Nilai *thermal conductivity* pada tulangan baja dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$\lambda = -0,22\theta + 48 \text{ untuk } 0 \leq \theta \leq 900^\circ\text{C} \quad (6)$$

$$\lambda = 28,2 \text{ untuk } \theta > 900^\circ\text{C} \quad (7)$$

dimana:

λ = *Thermal conductivity*, W/m°C

θ = Suhu pada baja, °C

Specific heat baja merupakan komponen yang mendeskripsikan jumlah input panas yang dibutuhkan untuk menaikkan satu satuan massa pada material satu satuan temperatur. Nilai *specific heat* pada tulangan baja dapat dihitung dengan rumus berikut:

a. $20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 600^\circ\text{C}$, maka

$$c_a = 425 + 7,73 \times 10^{-1} \theta - 1,69 \times 10^{-3} \theta^2 + 2,22 \times 10^{-6} \theta^3 \quad (8)$$

b. $600^\circ\text{C} \leq \theta \leq 735^\circ\text{C}$, maka

$$c_a = 666 + \frac{13002}{738 - \theta} \quad (9)$$

c. $735^\circ\text{C} \leq \theta \leq 900^\circ\text{C}$, maka

$$c_a = 545 + \frac{17820}{\theta - 731} \quad (10)$$

d. $900^\circ\text{C} \leq \theta \leq 1200^\circ\text{C}$, maka

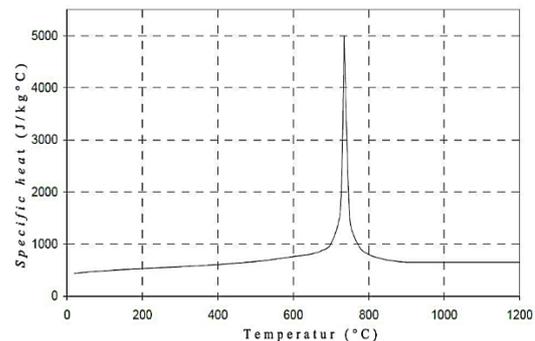
$$c_a = 650 \quad (11)$$

Dimana:

c_a = *specific heat* pada baja (J/kg°C)

θ = Suhu pada baja (°C)

Grafik hubungan *thermal conductivity* dan temperatur dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hubungan *Volumetric Specific Heat* terhadap Suhu pada Baja (Lie, 1992)

B.3 Metode Wickstrom

Metode Wickström digunakan untuk menghitung temperatur pada pelat dinding atau lantai, balok, dan kolom yang terbakar.

Pada umumnya, suhu bakar (θ_x) pada suatu titik dengan jarak tertentu dari permukaan x,y dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\theta(x, y) = [n_w(n_x + n_y - 2n_x n_y) + n_x n_y] \theta_f \quad (12)$$

Nilai suhu dipengaruhi oleh durasi paparan api dengan persamaan sebagai berikut.

$$\eta_w = 1 - 0,0616 \times t_w^{-0,88} \quad (13)$$

fungsi dari waktu terpapar api dan rasio antara *thermal diffusivity* kolom (α) dan nilai referensi α_c yaitu $417 \times 10^{-9} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. Adapun persamaan n_x adalah sebagai berikut.

$$n_x = 0,18 \ln u_x - 0,81 \quad (14)$$

$$u_x = \frac{t}{x^2} \times \frac{\alpha}{\alpha_c} \quad (15)$$

EN 1992-1-2 memberikan persamaan *thermal diffusivity* yaitu sebagai berikut.

$$\alpha = \frac{\lambda_c}{\rho_c \times c_c} \quad (16)$$

C.4 Program Elemen Hingga LUSAS v.16

LUSAS v.16 menjadikan jenis elemen dikelompokkan sesuai dengan fungsinya yaitu: *bars, beams, 2D continuum elements, 3D continuum elements, plates, shell, membranes, joints, field elements* dan *interface elements*. Menurut Djamaluddin, Akkas dan Sarungallo (2013), pemodelan menggunakan LUSAS v.16 melalui beberapa tahap yaitu pemodelan, melakukan analisis dan melihat hasil.

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Benda Uji

Ukuran benda uji yang digunakan pada permodelan penelitian ini dengan panjang 400 cm, tinggi 60 cm dan lebar 35 cm. Mutu beton yang digunakan yaitu f_c' 45 MPa.

C.2 Permodelan dengan Finite Element LUSAS

Tahapan permodelan kolom dengan menggunakan finite elemen LUSAS v.16 adalah sebagai berikut:

1. Mengatur *attribute* pada pemodelan seperti *mesh, geometric, material* dan *loading*.
2. Membentuk model kolom. Model kolom dibuat dengan cara menentukan titik koordinat x,y,z sesuai dengan jarak titik yang direncanakan.

3. Memasukkan data *attribute* ke model kolom. *Attribute* dimasukkan satu per satu. Apabila *attribute* telah masuk maka lambang akan menjadi berwarna



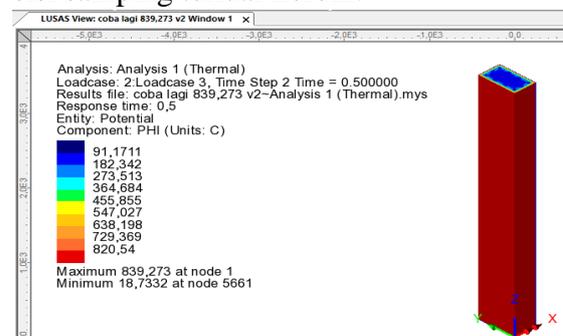
Gambar 7. Model Kolom yang Telah Diberikan *Attribute*

4. Mengatur kontrol *nonlinear* pada model kolom. Kontrol *nonlinear* ini dilakukan untuk mengatur durasi terbakar kolom pada suhu tertentu.
5. *Running Program*. Hal ini dilakukan dengan cara klik *solve* kemudian klik ok.

D. Hasil dan Pembahasan

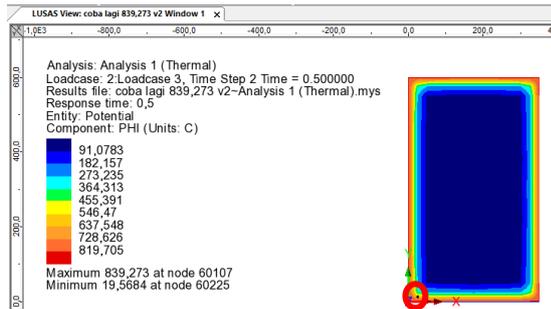
D.1 Analisis Peningkatan Suhu Menggunakan LUSAS v.16

Suhu terbakar diaplikasikan pada keempat sisi samping kolom sehingga terjadi perbedaan suhu antara sisi samping dengan sisi atas dan bawah kolom. Gambar 8 menggambarkan perbedaan suhu atas dan bawah kolom. Suhu tertinggi terdapat pada sisi samping terluar kolom.



Gambar 8. Hasil analisis LUSAS v.16 pada Bagian Luar Kolom

Output yang ditinjau pada analisis ini adalah peningkatan suhu penampang kolom pada titik x,y (25; 12,5). Suhu tertinggi terletak pada bagian terluar sedangkan suhu terendah terletak pada bagian terdalam kolom. Setiap warna mempresentasikan masing-masing suhu. Titik x,y (25; 12,5) yang akan ditinjau berada pada posisi sudut kiri bawah penampang kolom seperti pada Gambar 9.

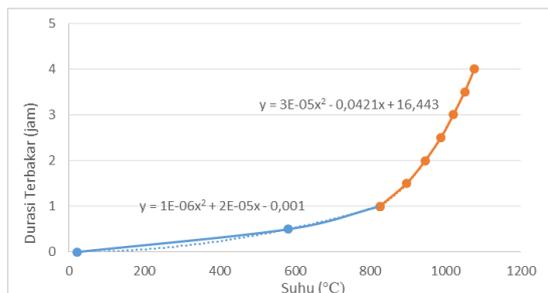


Gambar 9. Hasil Analisis Menggunakan LUSAS v.16 pada Bagian Dalam Kolom

Hasil pembacaan peningkatan suhu pada titik x,y (25;12,5) dapat dilihat pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Peningkatan Suhu pada Titik x,y (25, 12,5) Menggunakan LUSAS v.16

Waktu	θ_0 (°C)	$\theta_{25;12,5}$ (°C)
0,5	839,273	581,08
1	923,557	824,624
1,5	971,527	895,706
2	1007,497	945,435
2,5	1037,585	987,224
3	1064,112	1020,130
3,5	1088,19	1050,270
4	1110,441	1076,480



Gambar 10. Peningkatan Suhu pada Titik x,y (25;12,5) Menggunakan LUSAS v.16

Kecepatan peningkatan suhu pada beton dapat diketahui sebagai berikut.

$$v = \frac{\theta_{rata-rata}}{t} = \frac{922,619}{4} = 230,65^{\circ}\text{C} / \text{jam}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, kecepatan peningkatan suhu pada kolom saat terbakar adalah 230,65°C/jam.

D.2 Analisis Peningkatan Suhu Menggunakan Metode Wickstrom

Penampang yang dihitung distribusi temperaturnya adalah penampang di bentang tengah kolom. Contoh perhitungan yang diambil adalah pada kolom terbakar 0,5 jam dengan suhu 839,273°C dengan titik tjuauan adalah x,y (0,025; 0,0125).

Tabel 2. Nilai η_x pada Tiap Peningkatan Suhu dan Durasi Kebakaran

Waktu	Suhu	u_x	η_x
0,5	839,273	555,35	0,328
1	923,557	1043,24	0,441
1,5	971,527	1522,97	0,509
2	1007,497	1998,88	0,558
2,5	1037,585	2473,83	0,696
3	1064,112	2950,11	0,628
3,5	1088,190	3429,56	0,655
4	1110,441	3913,75	0,679

Sedangkan nilai n pada arah y dihitung seperti di bawah ini.

Tabel 3. Nilai η_y pada Tiap Peningkatan Suhu dan Durasi Kebakaran

Waktu	Suhu	u_y	η_y
0,5	839,273	2221,384	0,577
1	923,557	4172,950	0,691
1,5	971,527	6091,888	0,759
2	1007,497	7995,528	0,808
2,5	1037,585	9895,337	0,846
3	1064,112	11800,429	0,878
3,5	1088,190	13718,254	0,905
4	1110,441	15655,001	0,929

Nilai n_w untuk kolom yang terbakar selama 0,5 jam adalah sebagai berikut.

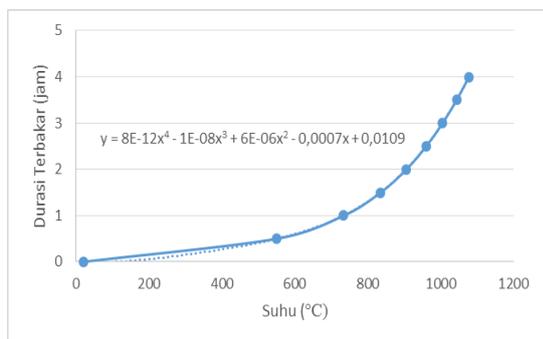
$$n_w = 1 - 0,0616t^{-0,88} = 1 - 0,0616 \times 0,5^{-0,88} = 0,887$$

Hasil perhitungan peningkatan suhu pada titik yang ditinjau dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Peningkatan Suhu pada Titik x,y (25; 12,5) Menggunakan Metode Wickstrom

Waktu	Suhu	η_w	$\theta_{25;12,5}$ (°C)
0,5	261,14	0,887	550,468
1	349,21	0,938	734,077
1,5	404,31	0,957	835,679
2	444,5	0,967	906,172
2,5	476,17	0,972	960,722
3	502,29	0,977	1005,649
3,5	524,53	0,997	1044,129
4	543,89	0,975	1077,969

Tabel 4. menunjukkan bahwa suhu pada titik x,y (25; 12,5) terus meningkat seiring dengan bertambahnya durasi kebakaran. Peningkatan suhu pada titik x,y (25; 12,5) dapat dilihat pada Gambar 11.

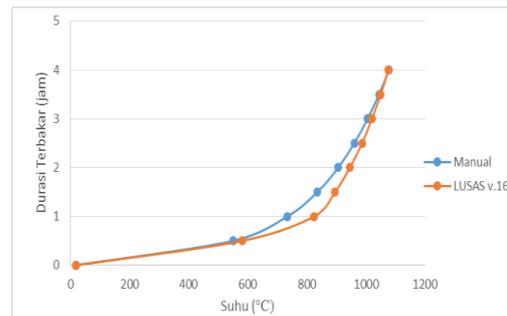


Gambar 11. Peningkatan Suhu pada Titik x,y (25;12,5) Menggunakan Metode Wickstrom

Kecepatan peningkatan suhu pada beton dapat diketahui sebagai berikut.

$$v = \frac{\theta_{rata-rata}}{t} = \frac{889,358}{4} = 222,340^\circ C / jam$$

Berdasarkan perhitungan di atas, kecepatan peningkatan suhu pada kolom saat terbakar adalah 222,340°C/jam.



Gambar 12. Perbandingan Peningkatan Suhu Akibat Durasi Terbakar dengan Metode Wickstrom dan LUSAS v.16

Peningkatan suhu pada titik x,y (25; 12,5) dengan menggunakan LUSAS v.16 terjadi secara signifikan pada saat elemen kolom terbakar 0,5 jam kemudian suhu meningkat secara perlahan hingga terbakar 4 jam. Peningkatan suhu menggunakan LUSAS v.16 lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan metode Wickstrom. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 13. Grafik peningkatan suhu pada LUSAS v.16 saat kolom terbakar 1 hingga 2,5 jam lebih tinggi dari pada grafik peningkatan suhu menggunakan metode Wickstrom.

E. Kesimpulan dan Saran

E.1 Kesimpulan

Kecepatan peningkatan suhu pada titik x,y (25; 12,5) dengan analisis LUSAS v.16 lebih cepat 3,7% dari hasil perhitungan menggunakan metode Wickstrom. Kecepatan peningkatan suhu yang didapatkan dengan menggunakan metode Wickstrom adalah 222,340°C/jam sedangkan kecepatan peningkatan suhu yang didapatkan dengan menggunakan LUSAS v.16 adalah 230,65°C/jam.

F. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada semua pihak yang telah membantu selama penelitian ini, terutama kepada orang tua yang selalu tanpa henti memberikan motivasi serta kepercayaan selama penelitian ini.

G. Daftar Pustaka

- Djamaluddin, R., Akkas, A. ., & Sarungallo, A. . (2013). *Studi Pemodelan Berbasis FEM Balok Beton Bertulang Menggunakan Lusas 14.0 yang Diperkuat Dengan GFRP*.
- 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.
- Latip, A. (2016). *Analisa Kinerja Struktur Beton Bertulang Pasca Kebakaran*, 3(2), 91–101.
- Lie, T. T. (1992). *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 78: Structural Fire Protection*, (78). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097239-8.00032-5>
- Sulendra, I. ketut, & Tatong, B. (2007). *Analisis Material Beton Bertulang Pasca Kebakaran dan Metode Perbaikan Elemen Strukturnya*, 1–14.
- Sutapa, A. A. G., & Rosita, N. N. (2012). *Kekuatan Tekan Kolom Pendek Pasca Pembakaran*.