

ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR BALOK PASCA KEBAKARAN PADA GEDUNG DENGAN PENAMBAHAN PELAT BAJA SEBAGAI PERKUATAN

Heri Istiono^{*1}, Mochammad Anang Syafruddin²

¹Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

²Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

*Korespondensi : heri_istiono@itats.ac.id

ABSTRACT

Fire occurring in the building can cause fatal effects to the strength of building. Therefore, this research aimed at investigating the structural strength and capacity pre-fire, the remaining strength and capacity post-fire, and the structural strength and capacity after adding steel plate reinforcement. The field data involved the building of Tamansari Emerald Surabaya Apartment. The nominal moment of beam was controlled pre-fire and post-fire. The results of research demonstrated that the beam encountering fire would have moment capacity reduction at 300°C, 600°C, and 800°C by consecutively 0,0677%, 2,7569%, and 33,98% of the moment capacity in the normal condition. Furthermore, the reinforcement applied steel plate having the dimension 150×5 mm. Thus, the increasing moment capacity after adding reinforcement gained around 60 – 380 Kn.m.

Keywords: beam structure strength, fire, steel plate reinforcement, moment capacity

1. PENDAHULUAN

Pertambahan jumlah penduduk mengakibatkan peningkatan kebutuhan tempat tinggal, perkantoran, rumah sakit dan gedung tinggi yang dapat memiliki beberapa fungsi sekaligus. Dalam proses pembangunan gedung di Indonesia banyak menggunakan beton sebagai material utama, hal ini dikarenakan beton dinilai memiliki ketahanan yang lebih untuk menghadapi iklim tropis jika dibandingkan dengan material lain [1]. Kebakaran pada gedung merupakan salah satu bencana dengan dampak yang serius bagi struktur. Menurut data dari dinas kebakaran kota surabaya, pada tahun 2019 dari Januari sampai September terdapat 570 kasus dengan 248 kasus disebabkan oleh api terbuka seperti korek api, kompor dan lilin, 78 kasus disebabkan akibat korsleting listrik sedangkan 244 kasus lainnya masih dalam tahap penyelidikan.

Kebakaran yang terjadi pada gedung dapat mempengaruhi kekuatan struktur gedung. Pada penelitian ini dilakukan analisis

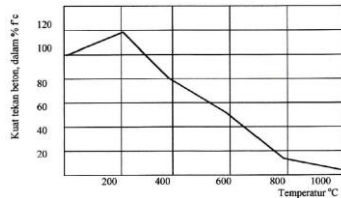
kekuatan balok pasca kebakaran pada gedung apartemen Tamansari Emerald yang memiliki 42 lantai. Menurut Bayuasri T. [2], besar penurunan kuat tekan pada beton saat terjadi kebakaran dipengaruhi oleh durasi kebakaran dan suhu. Dengan pertambahan durasi dan meningkatnya suhu maka akan semakin menurunkan kuat tekan beton. Pada percobaan yang dilakukan pada beton yang memiliki kuat tekan 21,6 MPa dan 32,92 MPa dengan durasi kebakaran selama 3 sampai 7 jam dengan suhu 300°C sampai 900°C. pada percobaan tersebut didapat hasil sisa kuat tekan 63 – 65 % pada suhu 300°C, pada suhu 600°C didapat sisa kuat tekan sebesar 19,96 – 37,7%, dan pada suhu 900°C kuat tekan yang tersisa sebesar 14,16 – 21,64% bergantung pada durasi dan kuat tekan awal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penurunan Mutu Beton

Dalam penelitian ini, penurunan mutu beton pasca kebakaran menggunakan literatur dari penelitian yang dilakukan oleh Suhendro [3] dalam Rizal, F. [4], pengaruh pemanasan pada

beton dengan suhu mencapai 200°C dapat meningkatkan mutu beton 10 – 15 % dibandingkan dengan mutu beton kondisi normal. Penurunan mutu beton menurut Suhendro [3] dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 1. Persentase Penurunan Mutu Beton Berdasarkan Kenaikan Suhu [3]

2.2 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan sesuai dengan SNI 1726:2012 [5] sebagai berikut :

$$1,4 D \quad (1)$$

$$1,2 D + 1,6 L \quad (2)$$

$$1,2 D + 1 L + 1 E_h + 1 E_v \quad (3)$$

$$0,9 D - 1 E_h + 1 E_v \quad (4)$$

Dimana untuk nilai E_h (gempa horizontal) dan E_v (gempa vertikal) didapat dari persamaan berikut :

$$E_h = \rho \times Q_E \quad (5)$$

$$E_v = 0,2 \times S_{DS} \times D \quad (6)$$

2.3 Kontrol Perilaku Struktur

2.3.1 Partisipasi Massa dan Periode Fundamental

Dalam SNI 1726:2012 [5] pasal 7.9.1 disyaratkan partisipasi massa pada bangunan harus lebih dari 90% saat terjadi gempa. Periode fundamental ditetapkan berdasarkan SN 1726:2012 pasal 7.8.2. Terdapat 2 batasan periode sebagai berikut :

$$T_a \text{ min} = C_t \times h_n^x \quad (7)$$

$$T_a \text{ maks} = T_a \text{ min} \times C_u \quad (8)$$

C_t dan C_u = berdasarkan tabel 14 dan 15 SNI 1726:2012.

2.3.2 Simpangan Antar Lantai (Drift)

Simpangan antar lantai ditentukan berdasarkan SNI 1726: 2012 [5] pasal 7.8.6 dengan persamaan berikut :

$$\delta_x = \delta_{xe} \times C_d / I \quad (9)$$

Dimana :

C_d = faktor amplifikasi defleksi dalam (tabel 9 SNI 1726-2012)

δ_{xe} = simpangan antar lantai elastis

I_e = faktor keutamaan gempa

2.3.3 Geser Dasar Seismik (Base Shear)

Geser dasar seismik dikontrol dengan perbandingan gaya geser dinamis dan 85% gaya geser statis, jika geser dinamis < 85% geser statis maka skala gaya dihitung dengan persamaan berikut :

$$S = \frac{85\% \times \text{Geser Statis}}{\text{Geser Dinamis}} \quad (10)$$

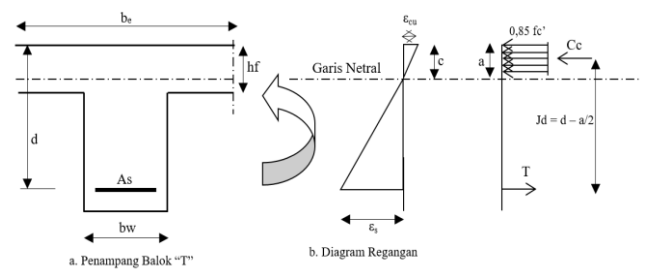
2.3.4 Sistem Ganda

Berdasarkan SNI 1726: 2012 [5] pasal 7.2.5.1 perencanaan sistem ganda, sistem pemikul momen harus mampu menahan 25% gaya lateral yang terjadi.

2.4 Analisis Kapasitas Momen Balok

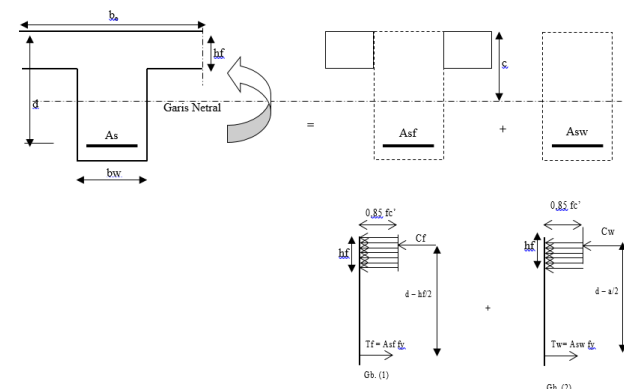
Dalam analisis balok sebelum kebakaran dilakukan dengan analisis balok T, analisis dilakukan dengan menggunakan persamaan kesetimbangan gaya $C = T$. Dalam analisis balok T terdapat 2 kondisi sebagai berikut :

1. Kondisi 1, bila garis netral berada di area sayap $c < h_f$, maka balok dapat dianalisis seperti balok persegi dengan lebar balok = lebar efektif (be) yang dapat dilihat pada diagram berikut :



Gambar 2. Diagram Tegangan Balok T Kondisi 1 [6]

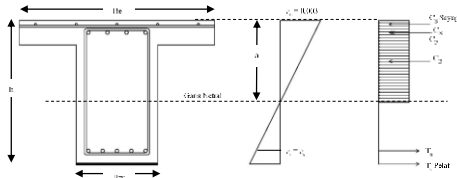
2. Kondisi 2, ketika garis netral berada di area badan dengan $c > h_f$ maka balok berperilaku sebagai balok T.



Gambar 3. Diagram Tegangan Balok Kondisi 2 [6]

2.5 Momen Nominal Balok dengan Perkuatan

Perhitungan momen nominal balok dengan penambahan perkuatan pelat baja dilakukan dengan menggunakan persamaan kesetimbangan $C = T$ maka didapat diagram tegangan dan regangan sebagai berikut :



Gambar 4. Diagram Tegangan dan Regangan Balok Komposit

Dari diagram di atas maka dapat diuraikan gaya yang terjadi sebagai berikut :

$$C = T \quad (11)$$

$$C_p + C_s + C_{s \text{ sayap}} + C_{\text{badan}} = T_s + T_{s \text{ perkuatan}}$$

Dari persamaan kesetimbangan tersebut maka didapat persamaan momen nominal balok komposit :

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_{s \text{ perkuatan}} \times f_{y \text{ perkuatan}} \times \left(h - \frac{a}{2}\right) \quad (12)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Data Penelitian

Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data perencanaan dari gedung Apartemen Tamansari Emerald dengan 42 Lantai. Data yang digunakan yaitu gambar rencana, data tanah, data beban rencana. Untuk mutu material yang digunakan pada pemodelan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

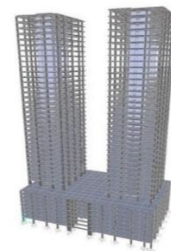
Tabel 1. Material Yang Digunakan

Jenis Beton	Lantai	Kuat Tekan (MPa)
Balok	1 – 42	25
Pelat	1 – 42	25
Kolom	1 – 18	41,5
	18 – 34	37,35
	34 – Atap	29,05
Shearwall	1 – 18	41,5
	18 – 34	37,35
	34 – Atap	29,05

3.2 Pemodelan Struktur

Dalam penelitian ini pemodelan struktur menggunakan program bantu

SAP2000 V.14 dengan pemodelan 3D sesuai dengan gambar rencana seperti pada gambar berikut :



Gambar 5. Pemodelan Gedung

3.3 Pembebanan Struktur

Dalam perencanaan struktur apartemen Tamansari Emerald menggunakan pembebanan sebagai berikut :

1. Beban Mati

Beban mati yang digunakan dalam perencanaan mengacu pada PBI 1983 yang meliputi beban mati tambahan seperti : spesi, keramik, plafon + penggantung, ME.

2. Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan pada perencanaan berdasarkan pada SNI 1727:2013 tabel 4-1 meliputi beban hidup lantai parkir 1,92 KN/m², beban hidup apartemen 1,92 KN/m² dan beban hidup atap 1,0 KN/m².

3. Beban Gempa

Perencanaan beban gempa mengacu pada SNI 1726:2012 menggunakan respons spektrum sesuai dengan lokasi bangunan dengan jenis tanah sesuai dengan kondisi pengujian di lapangan yakni tanah lunak.

3.4 Analisis Momen Nominal Balok

Analisis momen nominal balok dilakukan sebelum kebakaran dan pasca kebakaran. Adapun langkah perhitungan momen balok sebagai berikut :

1. Menentukan lebar efektif masing – masing balok karena balok yang dianalisis adalah balok T
2. Menentukan lokasi garis netral
3. Menghitung momen nominal dengan kesetimbangan gaya $C = T$

Dalam analisis momen nominal balok komposit balok yang ditambahkan perkuatan merupakan balok yang mengalami kondisi tidak aman karena momen ultimate > momen nominal pada kondisi pasca kebakaran 800°C.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kontrol Perilaku Struktur

4.1.1 Partisipasi Massa

Dari hasil pemodelan didapatkan hasil partisipasi massa lebih dari 90% untuk sumbu X didapat pada mode ke 23 dan untuk sumbu Y pada mode ke 14.

4.1.2 Periode Fundamental

Berdasarkan hasil pemodelan didapat periode struktur 4,9306 detik dimana periode hasil pemodelan lebih besar dari periode minimum sebesar 4,215 detik dan lebih kecil dari periode maksimum sebesar 5,901 detik.

4.1.3 Geser Dasar

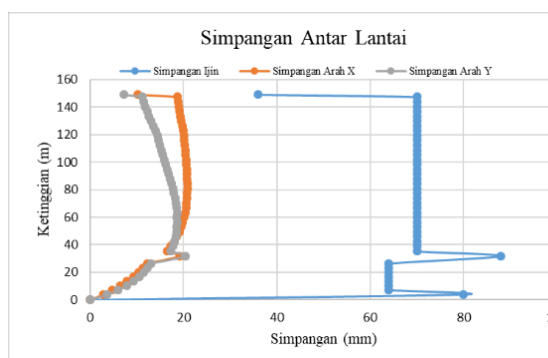
Dari hasil perbandingan gaya geser statis dan gaya geser dinamis didapatkan hasil gaya geser dinamis lebih kecil dari 85% gaya geser statis baik untuk sumbu X maupun sumbu Y. Sehingga faktor skala yang awa sebesar 1,4 untuk sumbu X dan sumbu Y diganti dengan faktor skala baru sebesar 1,696 untuk sumbu X dan 1,906 untuk sumbu Y.

4.1.4 Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai berdasarkan hasil perhitungan didapat bahwa simpangan yang terjadi pada setiap lantai lebih kecil dari simpangan izin yang dapat digambarkan dengan grafik berikut (**Gambar 6**).

4.1.5 Sistem Ganda

Berdasarkan hasil analisis gaya geser pada Sumbu X dan Sumbu Y yang dipikul oleh shear wall kurang dari 75% dan sisanya dipikul oleh struktur rangka pemikul momen.



Gambar 6. Grafik Simpangan Antar Lantai

4.2 Momen Balok Sebelum Kebakaran

Analisis momen nominal balok sebelum kebakaran dilakukan berdasarkan kondisi eksisting dengan f_c sesuai rencana

yakni 25 MPa dan f_y 400 MPa. Analisis momen nominal balok dilakukan pada semua lantai, untuk hasil analisis momen nominal balok pada lantai parkir dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. Momen Nominal Sebelum Kebakaran Pada Balok Lantai Parkir

Jenis	Area	Mu	ϕM_n	Ket.
		Kn.M	Kn.M	
Bl 1-	T	422,238	555,632	Ok
1 A	L	295,053	339,426	Ok
Bl 1-	T	323,67	448,536	Ok
1 B	L	222,01	284,114	Ok
Bl 1-	T	192,17	502,336	Ok
1 C	L	135,88	284,114	Ok
BA	T	117,166	193,431	Ok
2-1A	L	87,237	155,753	Ok

4.3 Momen Balok Pasca Kebakaran

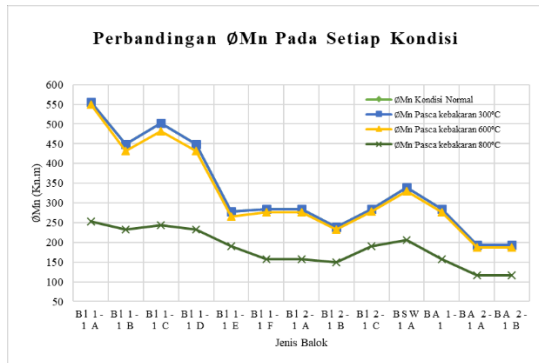
Perhitungan momen nominal dilakukan juga pada kondisi pasca kebakaran 300°C, 600°C dan 800°C. Dimana penentuan penurunan f_c pada masing – masing suhu berdasarkan pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Suhendro (2000) yang berdasarkan pada grafik pada Gambar 1. Pada suhu 300°C sisa kuat beton 24,56 MPa, pada suhu 600°C sisa kuat tekan beton 12,41 MPa dan pada suhu 800°C kuat beton yang tersisa 3,36MPa. Hasil perhitungan momen nominal balok pada suhu 800°C dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Momen Nominal Pasca Kebakaran 800°C Pada Balok Lantai Parkir

Jenis	Area	Mu	ϕM_n	Ket.
		Kn.M	Kn.M	
Bl 1-	T	422,238	252,908	Tdk Ok
1 A	L	295,053	206,13	Tdk Ok
Bl 1-	T	323,67	232,645	Tdk Ok
1 B	L	222,01	190,527	Tdk Ok
Bl 1-	T	192,17	243,558	Ok
1 C	L	135,88	190,527	Ok
BA	T	117,166	116,562	Tdk Ok
2-1A	L	87,237	109,355	Ok

Berdasarkan perhitungan momen nominal balok pasca kebakaran pada lantai parkir dengan

suhu 300°C, 600°C dan 800°C dapat digambarkan penurunan dari tiap kenaikan suhu kebakaran pada grafik penurunan momen berikut (**Gambar 7**).



Gambar 7. Grafik Perbandingan ØMn Pada Setiap Kondisi

4.4 Momen Nominal Balok dengan Perkuatan

Berdasarkan hasil analisis sesudah kebakaran didapat hasil bahwa terdapat balok yang mengalami kondisi tidak aman, sehingga perlu ditambahkan perkuatan tambahan. Dalam menentukan perkuatan tambahan digunakan perkuatan berupa pelat baja dengan dimensi 8 mm × lebar balok dan pelat baja dengan dimensi 5 mm × 150 mm.

Contoh perhitungan momen nominal balok dengan penambahan perkuatan pada balok B1 1-1 A dengan menggunakan persamaan kesetimbangan sebagai berikut :

1. $C = T$
2. $C_p + C_s + C_{s \text{ sayap}} + C_{\text{badan}} = T_s + T_{\text{sperkuatan}}$
3. $C_p = 0,85 \times f_c \times h_f \times (b_e - b_w)$
 $= 0,85 \times 3,36 \times 120 \times (960 - 400)$
 $= 191923,2$
4. $C_s = A_s \times \epsilon_{cu} \times \frac{a - \beta \times d}{a} \times E_s$
 $= 1133,54 \times \left(0,003 \times \frac{a - 0,85 \times 59,5}{a} \times 200000 \right)$
 $= 1133,54 \times \left(\frac{a - 50,575}{a} \times 600 \right)$
5. $C_{s \text{ sayap}} = A_s \text{ pelat} \times f_y \text{ pelat}$
 $= 392,5 \times 400$
 $= 157000$
6. $C_{\text{badan}} = 0,85 \times f_c \times b_w \times a$
 $= 0,85 \times 3,36 \times 400 \times a$
 $= 1142,4 a$
7. $T_s = A_s \times \epsilon_{cu} \times \frac{\beta \times d - a}{a} \times E_s$

$$= 2833,85 \times \left(0,003 \times \frac{0,85 \times 640,5 - a}{a} \times 200000 \right)$$

$$= 2833,85 \times \left(\frac{544,425 - a}{a} \times 600 \right)$$

$$8. T_s \text{ pelat} = A_s \text{ perkuatan} \times f_y \text{ perkuatan}$$

$$= 3200 \times 250$$

$$= 800000$$

$$9. 1,904a^2 + 3215,489a - 1599978,8 = 0$$

$$10. \text{ Didapat nilai } a = 401,927 \text{ mm}$$

$$11. F_s' = \epsilon_{cu} \times \frac{a - \beta \times d}{a} \times E_s$$

$$= 0,003 \times \frac{401,987 - 0,85 \times 59,5}{401,987} \times 200000$$

$$= 524,51 \text{ Mpa}$$

$$12. F_s = \epsilon_{cu} \times \frac{\beta \times d - a}{a} \times E_s$$

$$= 0,003 \times \frac{0,85 \times 640,5 - 401,987}{401,987} \times 200000$$

$$= 212,60 \text{ Mpa}$$

$$13. M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s \text{ perkuatan} \times f_y \text{ perkuatan} \times \left(h - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 2833,85 \times 212,60 \times \left(640,5 - \frac{401,987}{2} \right) + 3200 \times 250 \times \left(700 - \frac{401,987}{2} \right)$$

$$= 264792342,2 + 718569360$$

$$= 983,36 \text{ Kn.m}$$

$$14. \phi M_n = 0,8 \times 1216,77$$

$$= 786,69 \text{ Kn.m}$$

Hasil perhitungan momen nominal balok setelah ditambahkan perkuatan dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Momen Nominal Setelah Ditambahkan Perkuatan Pada Balok Lantai Parkir

Jenis	Area	Mu	ØMn	Ket.
		Kn.M	Kn.M	
B1 1-1 A	T	422,238	471,939	Ok
B1 1-1 B	L	295,053	377,993	Ok
B1 1-1 C	T	323,67	441,631	Ok
B1 1-1 B	L	222,01	312,67	Ok
B1 1-1 C	T	192,17	243,558	Ok
B1 1-1 C	L	135,88	190,527	Ok
BA 2-1A	T	117,166	218,311	Ok
BA 2-1A	L	87,237	109,355	Ok

Setelah dilakukan analisis balok komposit, didapatkan hasil bahwa perkuatan yang digunakan adalah pelat baja dengan dimensi 5mm × 150mm.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari analisis yang dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Balok dengan keadaan normal memiliki momen nominal dengan range 117,57 – 890,73 Kn.m dimana dengan momen nominal tersebut balok mampu memikul momen ultimate dari hasil pemodelan dengan range 10,068 – 559,29 Kn.m.
2. Setelah mengalami kebakaran pada suhu 300°C balok akan mengalami penurunan kapasitas momen sebesar 0,0404 – 12,524 Kn.m, pada suhu 600°C akan mengalami penurunan kapasitas momen sebesar 2,304 – 50,097 Kn.m, dan pada suhu 800°C akan mengalami penurunan kapasitas momen sebesar 16,295 – 506,83 Kn.m.
3. Beton Balok yang mengalami kebakaran pada suhu 300°C akan mengalami penurunan kapasitas momen rata-rata 0,0677%, pada suhu 600°C akan mengalami penurunan kapasitas momen rata-rata 2,7569% dan pada suhu 800°C akan mengalami penurunan kapasitas momen dengan persentase rata-rata 33,98% dari kapasitas momen pada kondisi normal.
4. Perkuatan yang digunakan adalah pelat baja dengan dimensi 150×5 mm dengan

panjang pemasangan sesuai dengan bentang balok.

5. Penambahan perkuatan pelat baja meningkatkan kapasitas momen antara 60 Kn.m – 380 Kn.m.

Dari penelitian yang dilakukan, dapat diambil saran :

1. Perlu dilakukan penelitian secara langsung di lapangan untuk mendapatkan hasil yang relevan dengan kekuatan yang sebenarnya.
2. Penentuan dimensi pelat baja dapat ditentukan berdasarkan kebutuhan tiap balok, sehingga didapat variasi dimensi yang lebih efektif.
3. Perkuatan serupa juga dapat diterapkan pada kolom.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Septiarsilia and J. Propika, "Analisis Perkuatan Struktur Gedung Pasca Kebakaran", vol. 2, pp. 25-30, Juni 2019
- [2] T. Bayuasri, "Perubahan Perilaku Mekanis Beton Akibat Temperatur Tinggi", Thesis, Universitas Diponegoro, Semarang, 2005.
- [3] B. Suhendro, "Analisis Degradasi Kekuatan Struktur Beton Bertulang Pasca Kebakaran", Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2000.
- [4] F. Rizal, "Evaluasi Kekuatan Dan Metode Perbaikan Struktur Beton Pada Gedung Pasca Kebakaran", vol. 2, pp. 55-61, April 2010.
- [5] SNI 1726:2012 "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung Dan Non Gedung", Jakarta, 2012
- [6] Pratikto, S.T., M.Si., "Konstruksi Beton I", Diklat, Jakarta: Politeknik Negeri Jakarta, 2009.