

ANALISIS STRUKTUR BANGUNAN PASAR TRADISIONAL (PTM) KOTA BENGKULU PASCA KEBAKARAN

YUZUAR AFRIZAL¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik UNIB, Jl. W. R. Supratman,
Kandang Limun, Kota Bengkulu 38371, Telp. (0736)344087
Corresponding author: yuzuar.afrizal@unib.ac.id

Abstrak

Kebakaran yang terjadi pada bangunan PTM pada tanggal 14 Desember 2018 dapat mempengaruhi sifat-sifat beton dan bahan penyusunnya. Meningkatnya suhu ruang akibat kebakaran akan terus merambat kelapisan beton seiring meningkatnya suhu kebakaran dan durasi kebakaran yang terjadi. Pemeriksaan kualitas beton eksisting pasca kebakaran juga dilakukan dengan metode *core drill*, *hammer test* dan uji tarik untuk mengetahui kualitas baja tulangan. Kerusakan pada elemen struktur pasca kebakaran berupa pemisahan beton/*spalling*, retak/*crack* pada balok mengakibatkan lendutan/*deflection* yang berlebihan. Beton yang terdampak kebakaran memiliki warna mulai dari abu-abu sampai kuning kemerahan, yang mengindikasikan suhu kebakaran di atas 1000°C. Kualitas beton eksisting berdasarkan pengujian *core drill* pada elemen kolom K1 71,15 kg/cm², K2 103,99 kg/cm² dan pengujian *hammer test* rata-rata kolom 208,79 kg/cm², balok 175,13 kg/cm², plat lantai 102,54 kg/cm². Sebagian besar elemen struktur yang terdampak kebakaran tidak memiliki kinerja yang memenuhi standar dan tidak dapat digunakan kembali sebelum adanya perlakuan baik perbaikan, perkuatan atau pemingkaran dan pembangunan kembali

Kata kunci : Kuat Tekan, Kebakaran, Kerusakan

Abstract

The fire that occurred in the PTM building on December 14, 2018 can affect the properties of concrete and its constituent materials. The increase in room temperature due to fire will continue to propagate to the concrete layer as the fire temperature increases and the duration of the fire occurs. Inspection of the quality of the existing post-fire concrete is also carried out using the core drill method, hammer test and tensile test to determine the quality of reinforcing steel. Damage to post-fire structural elements in the form of concrete/spalling separation, cracks/cracks in beams resulting in excessive deflection/deflection. Fire-affected concrete ranges in color from gray to reddish yellow, indicating a fire temperature above 1000°C. The quality of the existing concrete is based on core drill testing on column elements K1 71.15 kg/cm², K2 103.99 kg/cm² and hammer test tests on average column 208.79 kg/cm², beam 175.13 kg/cm², floor plate 102.54 kg/cm². Most of the structural elements affected by fire do not have performance that meets the standards and cannot be reused until repair, reinforcement or demolition and redevelopment are carried out.

Keywords : Compressive Strength, Fire, Damage

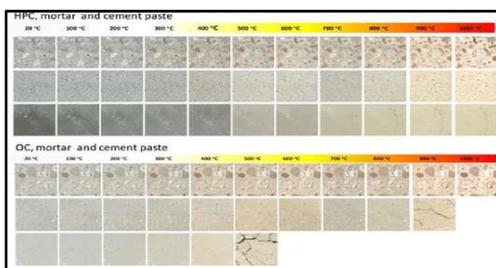
LATAR BELAKANG

Kebakaran terjadi hampir disemua jenis bangunan, mulai dari rumah hunian sampai bangunan gedung bertingkat banyak. PTM (Pasar Tradisional Modern) yang terletak di kawasan pusat perbelanjaan Jl. KZ Abidin Kota Bengkulu telah mengalami kebakaran pada tanggal 14 Desember 2018. Sebagaimana lazimnya terjadi pada konstruksi bangunan yang mengalami kejadian luar biasa berupa kebakaran, akan terjadi kerusakan elemen konstruksi dan degradasi kualitas material konstruksi.

Pengaruh panas (temperatur) pada saat konstruksi mengalami kebakaran dapat menyebabkan penurunan kuat tekan beton. Kerusakan pada beton dapat terjadi akibat perbedaan angka muai antara agregat dan pasta semen yang menyebabkan lekatan antar batuan menjadi berkurang. Kondisi ini pasta semen mengalami penyusutan sedangkan batuan akan mengembang sehingga menimbulkan retak pada beton dan akhirnya mengakibatkan kualitas beton menurun (Mulyono, T 2003:91). Akibat menurunnya kualitas beton akan berpengaruh terhadap kestabilan struktur bangunan tersebut secara menyeluruh. Semua penelitian yang dilakukan merupakan usaha untuk menaksir kekuatan sisa suatu bangunan pasca kebakaran.

Pengaruh Temperatur Pada Beton

Kegagalan beton tidak harus mencapai kehancuran pada inti beton, namun dengan setebal selimut beton saja sudah cukup untuk



Gambar 2 Pembagian warna beton

mempengaruhi kualitas dari balok atau kolom beton. Hal ini dikarenakan dengan ketebalan selimut beton, ada tulangan yang rentan terhadap temperatur panas. Meskipun demikian penurunan kuat tekan beton pada fase ini relatif sangat kecil sehingga dapat

diabaikan. Selama pemanasan akan terjadi penguapan air yang terdapat pada pori-pori sehingga tekanan uap pada pori beton akan meningkat dan mengakibatkan terjadi *explosive spalling* yang menyebabkan sebagian segmen beton terlepas dari permukaan beton. Analisa perambatan panas dengan metode numerik pada beton untuk setebal selimut beton dapat di capai 93% pada waktu 15 menit dan beton kehilangan kuat tekan sampai 50% pada suhu 550°C, (Afrizal, 2014). Beton yang dibakar pada tungku pembakaran manual dengan suhu 150°C - 200°C selama 60 menit mulai berubah warna dan bekurangnya berat benda uji serta kehilangan kuat tekan sampai 23%, (Afrizal, 2015). Begitu juga yang terjadi pada mortar, mortar yang panaskan dengan oven selama 60 menit pertama mulai berubah warna pada suhu 300°C dan kehilangan kuat tekan sampai 50% pada suhu 500°C, (Wiranata, 2016).

Tjokrodinuljo (2000) menyebutkan bahwa beton pada dasarnya tidak diharapkan mampu menahan panas sampai di atas 250°C. Akibat panas, beton akan mengalami retak, terkelupas (*spalling*), dan kehilangan kekuatan. Pembagian warna beton terlihat pada Gambar 1.

Kerusakan Pada Beton

1. Keretakan (*cracking*) Sedangkan jenis kerusakan yang sering terjadi pada struktur beton akibat kebakaran antara lain :
 - a. Retak ringan, yakni pecah pada bagian luar beton yang berupa garis-garis yang sempit dan tidak terlalu panjang dengan pola menyebar. Retak ini disebabkan oleh proses penyusutan beton pada saat terjadi kebakaran.

- b. Retak berat, yakni ukuran retak lebih dalam dan lebar, terjadi secara tunggal atau kelompok (Triwiyono, 2000:2).
2. *Spalling* (pengelupasan) Spalling dapat diartikan tertekan dengan penampakan bagian permukaan beton yang keluar/lepas/terpisah.
- a. Beton keropos dan kualitas beton buruk
 - b. Suhu tinggi akibat kebakaran (Munaf & Siahaan, 2003:14)
3. *Voids*
lubang-lubang yang cukup dalam atau keropos yang biasanya disebabkan oleh pemadatan saat pelaksanaan yang kurang baik dimana mortar tidak dapat mengisi rongga-rongga antar agregat.

Menurut Zacoeb dan Anggraini (2005), perubahan temperatur yang cukup tinggi, seperti yang terjadi pada peristiwa kebakaran, akan membawa dampak pada struktur beton. Hal ini akan mempengaruhi kualitas/kekuatan struktur beton tersebut.

Jenis kerusakan yang sering terjadi akibat kebakaran antara lain : retak ringan, retak berat, beton pecah/terkelupas, voids (lubang-lubang yang cukup dalam atau keropos), lendutan balok dan tulangan putus, hilang atau tekuk.

Kuat Tekan Beton

Perhitungan kuat tekan adalah dengan rumus:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dengan:

f'c = kuat tekan (kg/cm²)

A = luas penampang benda uji (cm²)

P = beban (kg)

5. Pelaporan

Bentuk Pengujian

Visual inspection

Dengan mengamati perubahan fisik yang terjadi pada beton pasca. Berikut penampakan perubahan fisik beton pada Gambar 3.

Nilai prosentase penurunan kekuatan beton yang mengalami perubahan temperature dinyatakan dengan:

$$\Delta f'c = \frac{f'ci - f'cx}{f'ci} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana:

Δ = perubahan kekuatan beton (%)

f'ci = kekuatan hancur beton pada suhu normal / 25°C (MPa)

f'cx = kekuatan hancur beton pada suhu yang ditinjau (MPa)

METODE PENELITIAN

Objek Studi

Kebakaran Pasar Tradisional Modern (PTM) yang berlokasi dikawasan Pasar Minggu, Kota Bengkulu ini terjadi pada di pagi hari dan baru bias di padamkan di sore harinya (Gambar 2).



Gambar 2 Kebakaran Pasar Tradisional Modern (PTM) Bengkulu

Prosedur Pelaksanaan

Dalam pemeriksaan ini, tim pemeriksa dari Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Bengkulu menggunakan prosedur sebagai berikut:

1. Pengumpulan data
2. *Desktop study*
3. Pengukuran dan pengamatan di lapangan
4. Analisa



Gambar 3. Penampakan perubahan fisik beton

Pengujian non destructive

Pengujian menggunakan alat *Rebound Hammer Test* dapat di lihat pada Gambar 4.

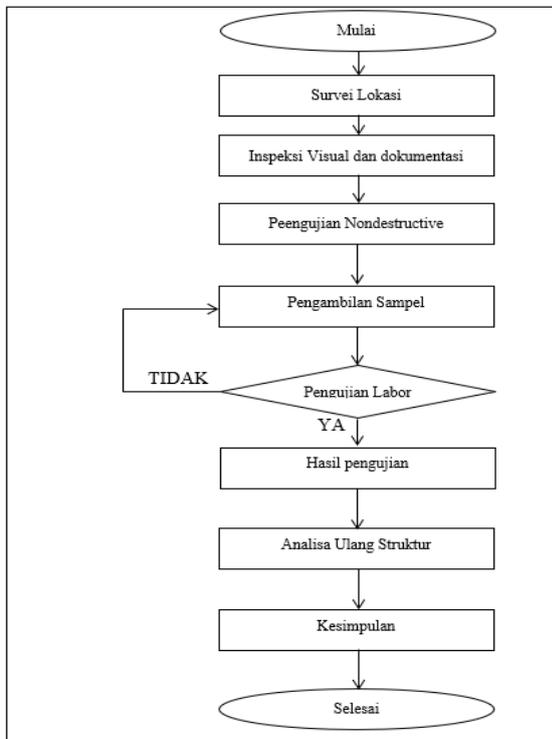


Gambar 4. Pengujian menggunakan alat *Rebound Hammer Test*

Pengujian semi destructive

Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian dapat di lihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Bagan Alir Penelitian



Gambar 7. Retak pada Balok

HASIL DAN PEMBAHASAN

Visual Inspection

Berdasarkan warna beton yang ada di prediksi suhu kebakaran mulai dari 400 °C sampai di atas 1000°C seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perubahan warna pada beton

Panasnya suhu yang terjadi juga akan menyebabkan beton mengalami retak-retak, mulai dari yang halus sampai retak yang besar yang di perparah dengan adanya beban dan lelehnya tulangan beton. Elemen struktur yang mengalami retak banyak terdapat pada balok dan plat lantai, seperti terlihat pada Gambar 7 dan pada Gambar 8 untuk retak pada plat lantai.

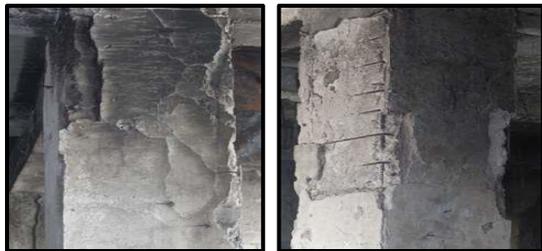


Gambar 8. Retak pada Plat lantai

Hampir semua elemen struktur dapat terjadi *spalling*, seperti pada elemen yang dapat dilihat pada Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11.



Gambar 9. *Spalling* pada Balok



Gambar 10. Lendutan pada Balok



Gambar 11. *Spalling* pada Plat Lantai

Elemen struktur seperti balok mengalami lendutan yang terjadi pada beberapa balok sudah melampaui lendutan ijin yang disebabkan oleh retaknya balok dan lelehnya tulangan balok, sehingga dapat membahayakan bagi pengguna. Lendutan dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. *Spalling* pada Kolom

Tabel 1. Kuat tekan beton berdasarkan *Hammertest*

| No. | Komponen Struktur | Lokasi | Kuat Tekan (kg/cm ²) | Jumlah sampel |
|-----|-------------------|---------------------|----------------------------------|---------------|
| 1 | Kolom | Terdampak kebakaran | 208,79 | 77 |

Pengujian *Nondestructive*

Pengujian yang dilakukan berupa pengujian *hammertest* pada beberapa bagian struktur yang dianggap paling tinggi tingkat kerusakan dan paling tinggi suhu kebakaran berdasarkan warna yang ada terlihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Pengujian *Hammertest*

Hasil pengujian dapat dilihat seperti pada Tabel 1.

| | | | | |
|---|-------|---------------------------|--------|----|
| 2 | Kolom | Tidak terdampak kebakaran | 302,85 | 7 |
| 3 | Balok | Terdampak kebakaran | 176,13 | 38 |
| 4 | Balok | Tidak terdampak kebakaran | 212,80 | 5 |
| 5 | Balok | Terdampak | 174,26 | 34 |

| | | | | |
|---|-------------|---------------------------|--------|----|
| | | kebakaran | | |
| 6 | Balok | Tidak terdampak kebakaran | 258,00 | 1 |
| 7 | Plat Lantai | Terdampak kebakaran | 102,54 | 33 |
| 8 | Plat Lantai | Tidak terdampak kebakaran | 114,00 | 5 |

Pengujian Kuat Tekan Beton dan Tarik Baja

Pengujian dilakukan pada benda uji yang di dapatkan dari hasil pengambilan sampel uji dengan *core drill* yang kemudian di uji tekan pada Laboratorium seperti terlihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Kuat tekan beton

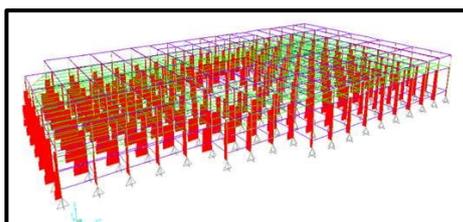
| No | Komponen Struktur | Kuat Tekan (kg/cm ²) |
|----|-------------------|----------------------------------|
| 1 | Kolom | 71,15 |
| 2 | Kolom | 103,99 |
| 3 | Plat Lantai | 127,10 |
| 4 | Plat Lantai | 32,34 |

Tabel 3. Kuat tarik baja

| No | Kuat Tarik (MPa) | |
|----|------------------|--------|
| | Leleh | Putus |
| 1 | 408.04 | 607.08 |
| 2 | 343.35 | 537.42 |

Analisa Struktur

Dari data *core drill* diambil kuat telan beton untuk kolom adalah sebesar K-71 sedangkan



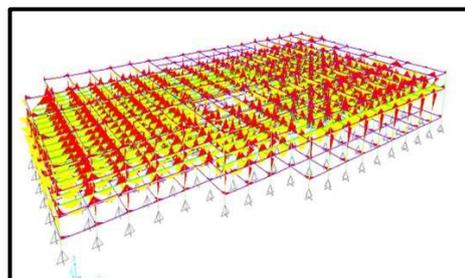
Gambar 16. Diagram N akibat kombinasi beban hidup dan mati

kuat tekan untuk balok sebesar K-32. Dari data Schmidt *hammer*, diambil kuat telan beton untuk kolom adalah sebesar K-209 sedangkan kuat tekan untuk balok sebesar K-174.

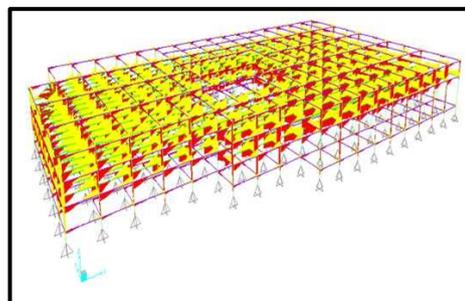
Analisis struktur ini didasarkan dengan asumsi-asumsi:

1. Mutu beton K-225
2. Mutu baja tulangan sesuai dengan ASTM A615Gr60 untuk tulangan utama dan A615Gr40 untuk tulangan sengkang
3. Beban hidup yang bekerja untuk pasar sebesar 250 kg/m² sesuai PPIUG 1983

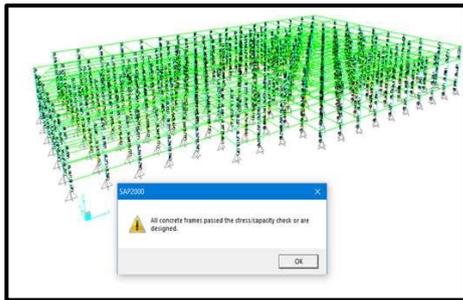
Secara umum dapat dinyatakan bahwa struktur dapat berperilaku memuaskan, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 14 – Gambar 17 berikut:



Gambar 14. Diagram V 2-2 akibat kombinasi beban hidup dan mati



Gambar 15. Diagram M 3-3 akibat kombinasi beban hidup dan mati

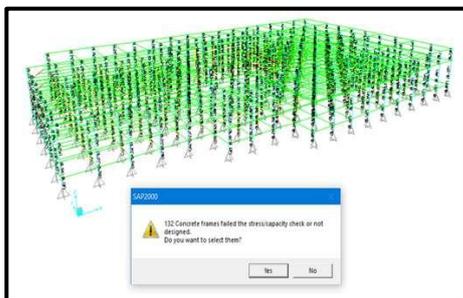


Gambar 17. Hasil pemeriksaan kapasitas elemen struktur sebelum kebakaran dengan peraturan terdahulu

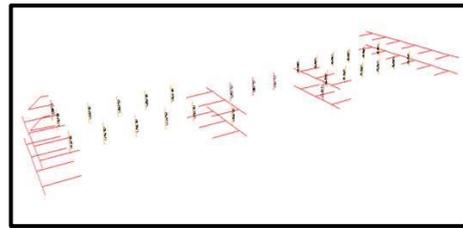
Analisis struktur ini didasarkan dengan asumsi-asumsi:

1. Mutu beton terdampak kebakaran yaitu K-71 untuk kolom dan K-32 untuk slab dan balok
2. Mutu baja tulangan fy 343 MPa untuk tulangan utama dan A615Gr40 untuk tulangan sengkang
3. Beban hidup yang bekerja untuk pasar sebesar 250 kg/m² sesuai PPIUG 1983

Secara umum hasil dapat dilihat pada Gambar 18 dan Gambar 19 berikut:



Gambar 18. Hasil analisis struktur setelah kebakaran dengan menggunakan peraturan terdahulu



Gambar 19. Elemen elemen struktural yang dinyatakan tidak aman

Banyak elemen-elemen yang terdampak kebakaran berada dalam kondisi tidak aman (*failed*). Elemen-elemen tersebut adalah kolom K2 (350 x 350 mm) dan balok B1 (300/600 mm), sedangkan balok anak 250/300 mm tidak dapat dianalisis karena tidak ada data penulangannya (kemungkinan besar tidak aman).

Kalkulasi analisis balok 300/600 mm dan kolom 350/350 mm dapat dilihat sebagai berikut:

| | | |
|--|--|---|
| 4. Penulangan | | |
| $A_s = \rho b d$ | | = <input type="text" value="#NUM!"/> mm ² |
| jumlah (n) = <input type="text" value="9"/> | | 9 D 16 |
| diameter (D) = <input type="text" value="#NUM!"/> | | |
| 5. Kontrol momen nominal | | |
| $A_{s\text{ aktual}} = n \frac{1}{4} \pi D^2$ | | = <input type="text" value="1808.6400"/> mm ² |
| $\rho_{\text{ aktual}} = \frac{A_{s\text{ aktual}}}{bd}$ | | = <input type="text" value="0.0119"/> |
| $a = \rho m d$ | | = <input type="text" value="899.8209"/> mm |
| $M_n = A_s f_y (d - \frac{1}{2} a)$ | | = <input type="text" value="33.876.637"/> Nmm |
| $\phi M_n \geq M_u$ | | <input type="text" value="27.101.310"/> \geq <input type="text" value="158.231.200"/> |

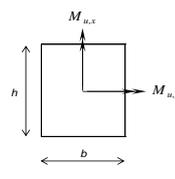
| A. PERANCANGAN BALOK PERSEGI | |
|---|--|
| Proyek : | |
| Portal : | |
| Elemen : | B1 TUMPUAN |
| 1. PENULANGAN LENTUR TUNGGAL | |
| 1. Data: | |
| M_u = | 158,231,200 Nmm |
| b = | 300 mm |
| d = | 505 mm |
| f_c' = | 2.68 MPa |
| f_y = | 340 MPa |
| ϕ = | 0.8 |
| β_1 = | 0.85 |
| 2. Menentukan nilai ρ : | |
| $R_u = \frac{M_u}{bd^2}$ | = 2.0682 |
| $m = \frac{f_y}{0.85f_c'}$ | = 149.2537 |
| $\left(f_y^2 - 2 \frac{R_u}{\phi} m f_y\right)$ | = -1.468E+05 |
| catatan: | |
| penampang perlu diperbesar jika nilai $\left(f_y^2 - 2 \frac{R_u}{\phi} m f_y\right) < 0$ | |
| $\rho = \frac{f_y - \sqrt{f_y^2 - 2 \frac{R_u}{\phi} m f_y}}{m f_y}$ | = #NUM! |
| 3. Kontrol nilai minimum dan maksimum | |
| $\rho_b = \beta_1 \frac{0.85f_c'}{f_y} \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}}$ | = 0.0037 |
| $\rho_{maks} = 0.75 \rho_b$ | = 0.0028 |
| $\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y}$ | = 0.0041 |
| untuk $\rho_{min} < \rho \leq \rho_{maks}$ | → balok bertulangan tunggal |
| $\rho_{min} > \rho$ | → dimensi diperkecil atau gunakan ρ_{min} |
| $\rho_{maks} < \rho$ | → balok bertulangan rangkap |
| jadi ρ = | #NUM! |

| A. PERANCANGAN BALOK PERSEGI | |
|---|--|
| Proyek : | |
| Portal : | |
| Elemen : | B1 LAPANGAN |
| 1. PENULANGAN LENTUR TUNGGAL | |
| 1. Data: | |
| M_u = | 77,625,000 Nmm |
| b = | 300 mm |
| d = | 505 mm |
| f_c' = | 2.68 MPa |
| f_y = | 340 MPa |
| ϕ = | 0.8 |
| β_1 = | 0.85 |
| 2. Menentukan nilai ρ : | |
| $R_u = \frac{M_u}{bd^2}$ | = 1.0146 |
| $m = \frac{f_y}{0.85f_c'}$ | = 149.2537 |
| $\left(f_y^2 - 2 \frac{R_u}{\phi} m f_y\right)$ | = -1.312E+04 |
| catatan: | |
| penampang perlu diperbesar jika nilai $\left(f_y^2 - 2 \frac{R_u}{\phi} m f_y\right) < 0$ | |
| $\rho = \frac{f_y - \sqrt{f_y^2 - 2 \frac{R_u}{\phi} m f_y}}{m f_y}$ | = #NUM! |
| 3. Kontrol nilai minimum dan maksimum | |
| $\rho_b = \beta_1 \frac{0.85f_c'}{f_y} \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}}$ | = 0.0037 |
| $\rho_{maks} = 0.75 \rho_b$ | = 0.0028 |
| $\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y}$ | = 0.0041 |
| untuk $\rho_{min} < \rho \leq \rho_{maks}$ | → balok bertulangan tunggal |
| $\rho_{min} > \rho$ | → dimensi diperkecil atau gunakan ρ_{min} |
| $\rho_{maks} < \rho$ | → balok bertulangan rangkap |
| jadi ρ = | #NUM! |

| | |
|---|-------------------------------|
| 4. Penulangan | |
| $A_s = \rho b d$ | = #NUM! mm ² |
| jumlah (n) = | 9 |
| diameter (D) = | #NUM! |
| 9 D 16 | |
| 5. Kontrol momen nominal | |
| $A_{s, aktual} = n \frac{1}{4} \pi D^2$ | = 1808.6400 mm ² |
| $\rho_{ aktual} = \frac{A_{s, aktual}}{bd}$ | = 0.0119 |
| $a = \rho m d$ | = 899.8209 mm |
| $M_n = A_s f_y (d - \frac{1}{2} a)$ | = 33,876,637 Nmm |
| $\phi M_n \geq \frac{M_u}{77,625,000}$ | $\geq \frac{M_u}{77,625,000}$ |

Dari perhitungan balok di atas diketahui fakta-fakta sebagai berikut:

1. Kapasitas momen tumpuan yang dibutuhkan adalah sebesar 158,231 kNm
2. Kapasitas momen lapangan yang dibutuhkan adalah sebesar 77,625 kNm
3. Koefisien resistensi balok dengan material eksisting setelah kebakaran bernilai negatif yang menunjukkan bahwa balok tidak dapat meneruskan beban
4. Kapasitas momen tumpuan yang tersedia adalah sebesar 27,101 kNm jauh di bawah yang dibutuhkan sebesar 158,213 kNm.
5. Kapasitas momen lapangan yang tersedia adalah sebesar 27,101 kNm, jauh di bawah yang dibutuhkan sebesar 77,625 kNm

| C. PERANCANGAN KOLOM BIAKSIAL | |
|--|---|
| Proyek : | PTM |
| Portal : | |
| Elemen : | K2 |
| METODE BRESLER-PARME/FAKTOR KONTUR | |
| 1. Data: | |
| $M_{u,x}$ = | 69,679,500 Nmm |
| $M_{u,y}$ = | 7,712,900 Nmm |
| P_u = | 409,787 N |
| b = | 350 mm |
| h = | 350 mm |
| d' = | 58 mm |
| f_c' = | 17.41672 MPa |
| f_y = | 340 MPa |
| ϕ = | 0.7 |
| β_1 = | 0.85 |
| |  |
| 2. Perhitungan | |
| $M_{n,x} = \frac{M_{u,x}}{\phi}$ | = 9.954E+07 Nmm |
| $M_{n,y} = \frac{M_{u,y}}{\phi}$ | = 1.102E+07 Nmm |
| $P_n = \frac{P_u}{\phi}$ | = 585,410.000 N |
| Kontrol nilai perbandingan: | |
| $\frac{M_{n,y}}{M_{n,x}} = 0.111$ | $\frac{b}{h} = 1.000$ |
| jika $\frac{M_{n,y}}{M_{n,x}} > \frac{b}{h}$ | → perhitungan dimulai pada sumbu: Y |
| jika $\frac{M_{n,y}}{M_{n,x}} \leq \frac{b}{h}$ | → perhitungan dimulai pada sumbu: X |
| 3. Perhitungan pada sumbu: <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Asumsi nilai β | = 0.66 |
| $M_{o,y} = M_{n,y} + M_{n,x} \frac{b}{h} \left(\frac{1-\beta}{\beta}\right)$ | = 0.000E+00 Nmm |
| $M_{o,x} = M_{n,x} + M_{n,y} \frac{h}{b} \left(\frac{1-\beta}{\beta}\right)$ | = 1.052E+08 Nmm |
| Dimensi terpakai: | |
| b = | 350 mm |
| h = | 350 mm |
| d = | 292 mm |

Analisis Struktur Bangunan Pasar Tradisional (Ptm) Kota Bengkulu Pasca Kebakaran

Peningkatan faktor reduksi faktor reduksi:
 $P_{n, \text{terpakai}} > 0,1 f_c' A_s$
 $680,920,542 > 213,354,820$ → memenuhi, nilai ϕ tetap
 kasus sebaliknya: → = 0.453
 $\phi = 0,9 - \frac{2\phi P_u}{f_c' A_g}$
 jadi nilai $\phi = 0.700$

Kontrol nilai momen nominal sumbu: **X**
 $M_{n,u} = 0,85 f_c' b \left(y - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' (y - d') + A_s f_s (d - y)$
 = 1.224E+08 Nmm
 $M_{o,u} \geq M_{n,u}$ → 1.224E+08 ≥ 1.052E+08
 → memenuhi, perhitungan dapat dilanjutkan
 → sebaliknya, perbesar nilai ρ

4. Perhitungan pada sumbu: **Y**
 Dimensi terpakai:
 $b = 350$ mm
 $h = 350$ mm
 $d = 292$ mm
 Prosedur coba-coba:
 Tentukan nilai $c = 132,919$ mm
 $a = \beta_1 c = 112,981$ mm
 $f_s' = 0,003 E_s \frac{c - d'}{c}$ f_s' terpakai = 355,096 MPa
 $f_s = 0,003 E_s \frac{d - c}{c}$ f_s terpakai = 753,998 MPa
 $P_n = 0,85 f_c' b a + A_s' f_s' - A_s f_s = 585,410,000$ N
 Prosedur coba-coba dilakukan sehingga nilai P_n konvergen dengan nilai $\frac{P_u}{\phi}$ = 585,410,000 N
 $M_{n,u} = 0,85 f_c' b \left(y - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' (y - d') + A_s f_s (d - y)$
 = 1.173E+08 Nmm
 Kontrol nilai momen nominal sumbu: **Y**
 (Gunakan grafik faktor kontur) $\beta = 0.66$
 $\frac{M_{n,u}}{M_{o,u}}$ (sumbu: X) = 0.813
 $z = \frac{M_{n,u}}{M_{o,u}}$ (sumbu: Y) = 0.478

Tentukan nilai ρ total, dengan batasan:
 $1\% \leq \rho_t \leq 8\%$ $\rho = 0.010$
 $A_s = A_s' = \rho b d$ = 511.000 mm²

Penulangan:
 jumlah (n) = 3.0000 → 3 D 16
 diameter (D) = 14.7304
 $A_{s, \text{aktual}} = \frac{1}{4} \pi D^2$ = 602.880 mm²
 $\rho_{\text{aktual}} = \frac{A_{s, \text{aktual}}}{bd}$ = 0.006

Kondisi keruntuhan *balanced* :
 $c_b = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{E_s}} d$ = 189,649 mm
 $a_b = \beta_1 c_b$ = 161,202 mm
 $f_s' = 0,003 E_s \frac{c_b - d'}{c_b}$ = 437,329 MPa
 jika nilai $f_s' \geq f_y$ → digunakan nilai f_y
 jika nilai $f_s' < f_y$ → digunakan nilai f_s'
 jadi nilai $f_s' = 340,000$ MPa
 $P_{n,b} = 0,85 f_c' b a_b + A_s' f_s' - A_s f_s = 835,264,324$ N
 $M_{n,b} = 0,85 f_c' b \left(d_b y - \frac{a_b}{2} \right) + A_s' f_s' (y - d') + A_s f_s (d - y)$
 = 1.268E+08 Nmm
 $e_b = \frac{M_{n,b}}{P_{n,b}}$ = 151,824 mm
 $e_- = \frac{M_{o,u}}{P_n}$ = 179,734 mm

Kontrol kondisi keruntuhan:
 jika nilai $e_b = e_-$ → merupakan keruntuhan *balanced*
 jika nilai $e_b > e_-$ → merupakan keruntuhan tekan
 jika nilai $e_b < e_-$ → merupakan keruntuhan tarik

Keruntuhan tarik:
 $\left(\frac{h - 2e}{2d} \right) = -0.016$
 $\left(1 - \frac{d'}{d} \right) = 0.801$
 $\frac{f_y}{0,85 f_c'} = 22.966$

$$P_{n,1} = 0,85 f_c' b d \left\{ \frac{h - 2e}{2d} + \sqrt{\left(\frac{h - 2e}{2d} \right)^2 + 2 \frac{f_y}{0,85 f_c'} \rho \left(1 - \frac{d'}{d} \right)} \right\}$$

= 680,920,542 N

Keruntuhan Tekan:
 $\left(\frac{e}{d - d'} \right) = 0.000$
 $\left(\frac{3he}{d^2} \right) = 0.000$
 $P_{n,2} = \frac{A_s' f_y}{\frac{e}{d - d'} + 0,5} + \frac{b h f_c'}{\frac{3he}{d^2} + 1,18}$ = 0.000 N

Kontrol keserasan tegangan:
 $P_n = 680,920,542$ N
 $a = \frac{P_n}{0,85 f_c' b} = 131,414$ mm
 $c = \frac{a}{\beta_1} = 154,605$ mm
 $f_s' = 0,003 E_s \frac{c - d'}{c}$ = 393,656 MPa
 f_s' terpakai = 340,000 MPa
 $f_s = 0,003 E_s \frac{d - c}{c}$ = 559,869 MPa
 f_s terpakai = 340,000 MPa
 jika nilai $f_s' < f_y$ → nilai P_n tidak dapat digunakan, gunakan "Prosedur Coba-coba"

Prosedur coba-coba:
 Tentukan nilai $c = 68,611$ mm
 $a = \beta_1 c = 0.000$ mm
 $f_s' = 0,003 E_s \frac{c - d'}{c}$ = 0.000 MPa
 f_s' terpakai = 0.000 MPa
 $f_s = 0,003 E_s \frac{d - c}{c}$ = 0.000 MPa
 f_s terpakai = 0.000 MPa
 $P_n = 0,85 f_c' b a + A_s' f_s' - A_s f_s = 0.000$ N
 $M_n = 0,85 f_c' b \left(y - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' (y - d') + A_s f_s (d - y)$
 $e_1 = \frac{M_n}{P_n} = 0.000$ mm
 Prosedur coba-coba dilakukan sehingga nilai e_1 konvergen dengan nilai $e_- = 0.000$ mm

5. Penulangan total penampang kolom:
 $M_{n,u} = z M_{o,u} = 5.604E+07$ Nmm
 $M_{n,u} \geq \frac{M_{o,u}}{\phi}$ → 5.604E+07 ≥ 1.102E+07
 → memenuhi, perhitungan selesai !!!
 → sebaliknya, sesuaikan nilai β
 → jika masih tidak memenuhi, perbesar nilai ρ

8 D 16

Dari perhitungan kolom di atas diketahui fakta-fakta sebagai berikut:

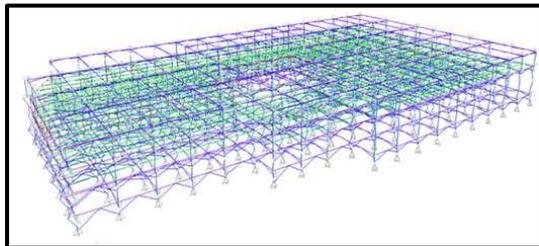
1. Kapasitas momen x yang dibutuhkan adalah sebesar 105.2 kNm
2. Kapasitas momen y yang dibutuhkan adalah sebesar 11.02 kNm
3. Kapasitas aksial yang dibutuhkan adalah sebesar 409 kN
4. Kapasitas momen x yang tersedia pada kapasitas aksial 409 kN adalah sebesar 56,8 kNm jauh di bawah yang dibutuhkan sebesar 105.2 kNm.
5. Kapasitas momen `y yang tersedia tidak dapat didefinisikan karena kualitas material yang sangat rendah.

Analisis kondisi struktur setelah kebakaran dengan mengacu pada peraturan mutakhir dan data *core drill*.

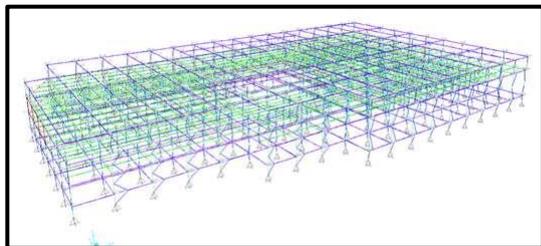
Analisis struktur ini didasarkan dengan asumsi-asumsi:

1. Mutu beton terdampak kebakaran yaitu K-71 untuk kolom dan K-32 untuk slab dan balok
2. Mutu baja tulangan f_y 343 MPa untuk tulangan utama dan A615Gr40 untuk tulangan sengkang
3. Beban hidup yang bekerja untuk toko eceran lantai di atas lantai 1 yaitu 3.59 kN/m^2 (366 kg/m^2) sesuai SNI 1727 2013
4. Beban gempa sesuai dengan SNI 1726 2012, lokasi Kota Bengkulu, asumsi tanah lunak, klasifikasi situs SD.

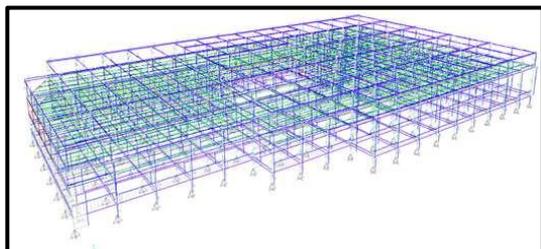
Secara umum hasil dapat dilihat pada Gambar 20 – Gambar 30 berikut.



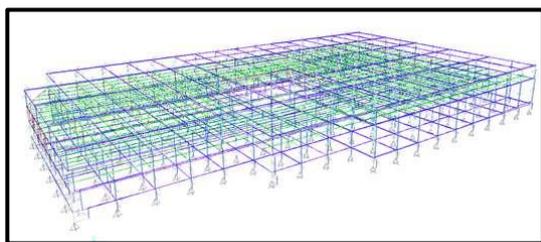
Gambar 20. Diagram M 3-3 akibat gempa X



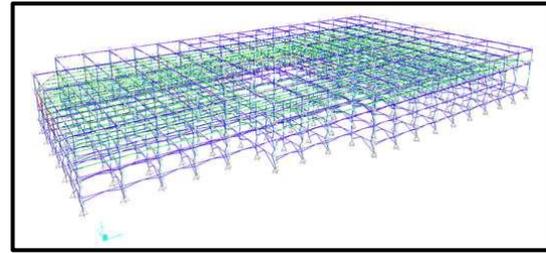
Gambar 21. Diagram M 2-2 akibat gempa X



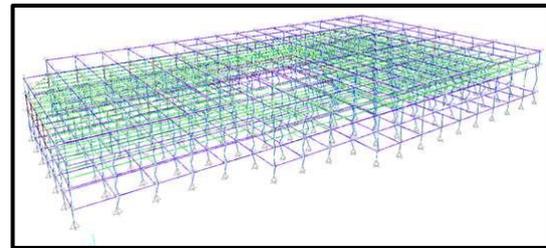
Gambar 22. Diagram V 2-2 akibat gempa X



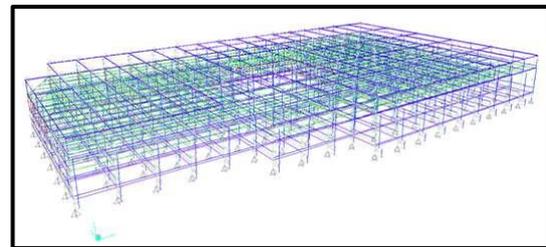
Gambar 23. Diagram N akibat gempa X



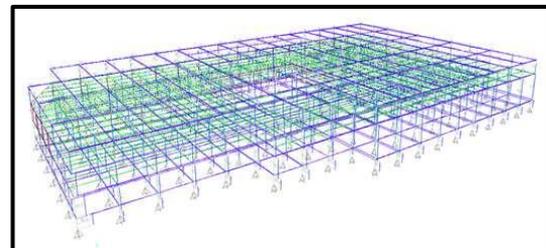
Gambar 24. Diagram M 3-3 akibat gempa Y



Gambar 25 Diagram M 2-2 akibat gempa Y



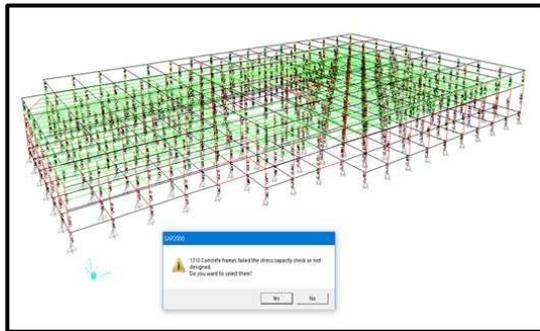
Gambar 26. Diagram V 2-2 akibat gempa Y



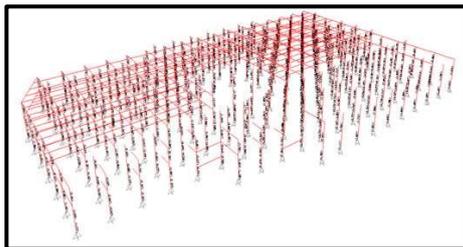
Gambar 27. Diagram N akibat gempa Y



Gambar 28. Diagram respon spektra, tanah lunak, faktor keutamaan 1



Gambar 29. Hasil analisis struktur setelah kebakaran dengan menggunakan peraturan mutakhir



Gambar 30. Elemen struktur yang dinyatakan tidak aman mengacu pada peraturan mutakhir

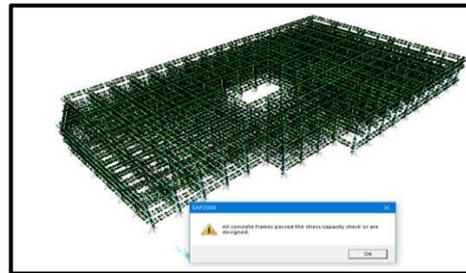
Dari analisis struktur di atas dapat diketahui bahwa elemen struktur yang terdampak kebakaran mengalami kondisi yang tidak aman. baik pada balok dan kolomnya, sedangkan pada bagian bangunan yang tidak terdampak kebakaran, seluruh kolom dan sebagian baloknya telah dalam kondisi yang tidak aman.

Analisis kondisi struktur setelah kebakaran dengan mengacu pada peraturan terdahulu dan data *hammer*.

Analisis struktur ini didasarkan dengan asumsi-asumsi:

1. Mutu beton terdampak kebakaran yaitu K-209 untuk kolom dan K-174 untuk slab dan balok
2. Mutu baja tulangan f_y 343 MPa untuk tulangan utama dan A615Gr40 untuk tulangan sengkang
3. Beban hidup yang bekerja untuk pasar sebesar 250 kg/m^2 sesuai PPIUG 1983

Secara umum hasil dapat dilihat pada Gambar 31.



Gambar 31. Hasil analisis struktur setelah kebakaran dengan menggunakan peraturan terdahulu dan data *hammer*

Dari hasil analisis struktur dengan menggunakan kondisi material setelah kebakaran dari data hammer test dan dengan mengacu pada peraturan terdahulu diketahui bahwa elemen-elemen yang terdampak kebakaran berada dalam kondisi aman.

Kalkulasi analisis balok 300/600 mm dan kolom 350/350 mm dapat dilihat sebagai berikut:

| A. PERANCANGAN BALOK PERSEGI | |
|---|--|
| Proyek : | |
| Portal : | |
| Elemen : | B1 TUMPUAN DATA HAMMER |
| 1. PENULANGAN LENTUR TUNGGAL | |
| 1. Data: | |
| M_u = | 158,231,200 Nmm |
| b = | 300 mm |
| d = | 505 mm |
| f_c' = | 14.45362 MPa |
| f_y = | 340 MPa |
| ϕ = | 0.8 |
| β_1 = | 0.85 |
| 2. Menentukan nilai ρ : | |
| $R_u = \frac{M_u}{bd^2}$ | = 2.0682 |
| $m = \frac{f_y}{0.85f_c'}$ | = 27.6747 |
| $(f_y^2 - 2\frac{R_u}{\phi}mf_y)$ | = 6.695.E+04 |
| catatan: penampang perlu diperbesar jika nilai $(f_y^2 - 2\frac{R_u}{\phi}mf_y) < 0$ | |
| $\rho = \frac{f_y - \sqrt{f_y^2 - 2\frac{R_u}{\phi}mf_y}}{mf_y}$ | = 0.0086 |
| 3. Kontrol nilai minimum dan maksimum | |
| $\rho_b = \beta_1 \frac{0.85f_c'}{f_y} \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}}$ | = 0.0199 |
| $\rho_{maks} = 0.75 \rho_b$ | = 0.0150 |
| $\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y}$ | = 0.0041 |
| untuk $\rho_{min} < \rho \leq \rho_{maks}$ | → balok bertulangan tunggal |
| $\rho_{min} > \rho$ | → dimensi diperkecil atau gunakan ρ_{min} |
| $\rho_{maks} < \rho$ | → balok bertulangan rangkap |
| jadi ρ = | 0.0086 |

4. Penulangan
 $A_s = \rho b d = 1308.2737 \text{ mm}^2$
 jumlah (n) = 9
 diameter (D) = 13.6080

5. Kontrol momen nominal
 $A_{s \text{ aktual}} = n \frac{1}{4} \pi D^2 = 1808.6400 \text{ mm}^2$
 $\rho_{\text{aktual}} = \frac{A_{s \text{ aktual}}}{bd} = 0.0119$
 $a = \rho m d = 166.8454 \text{ mm}$
 $M_n = A_s f_y (d - \frac{1}{2} a) = 259.243.733 \text{ Nmm}$

$\phi M_n \geq M_u$
 $207.394.987 \geq 158.231.200$

A. PERANCANGAN BALOK PERSEGI

Proyek :
 Portal :
 Elemen : B1 LAPANGAN DATA HAMMER

1. PENULANGAN LENTUR TUNGGAL

1. Data:
 $M_u = 77.625.000 \text{ Nmm}$
 $b = 300 \text{ mm}$
 $d = 505 \text{ mm}$
 $f_c' = 14.45362 \text{ MPa}$
 $f_y = 340 \text{ MPa}$
 $\phi = 0.8$
 $\beta_1 = 0.85$

2. Menentukan nilai ρ :
 $R_u = \frac{M}{bd^2} = 1.0146$
 $m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} = 27.6747$
 $\left(f_y^2 - 2 \frac{R_u}{\phi} m f_y \right) = 9.173.E+04$

catatan:
 penampang perlu diperbesar jika nilai $\left(f_y^2 - 2 \frac{R_u}{\phi} m f_y \right) < 0$

$\rho = \frac{f_y - \sqrt{f_y^2 - 2 \frac{R_u}{\phi} m f_y}}{m f_y} = 0.0039$

3. Kontrol nilai minimum dan maksimum
 $\rho_b = \frac{\beta_1 \cdot 0.85 f_c'}{f_y} \cdot \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}} = 0.0199$
 $\rho_{\text{maks}} = 0.75 \rho_b = 0.0150$
 $\rho_{\text{min}} = \frac{1.4}{f_y} = 0.0041$

untuk $\rho_{\text{min}} < \rho \leq \rho_{\text{maks}} \rightarrow$ balok bertulangan tunggal
 $\rho_{\text{min}} > \rho \rightarrow$ dimensi diperkecil atau gunakan ρ_{min}
 $\rho_{\text{maks}} < \rho \rightarrow$ balok bertulangan rangkap
 jadi $\rho = 0.0041$

4. Penulangan
 $A_s = \rho b d = 623.8235 \text{ mm}^2$
 jumlah (n) = 9
 diameter (D) = 9.3967

5. Kontrol momen nominal
 $A_{s \text{ aktual}} = n \frac{1}{4} \pi D^2 = 1808.6400 \text{ mm}^2$
 $\rho_{\text{aktual}} = \frac{A_{s \text{ aktual}}}{bd} = 0.0119$
 $a = \rho m d = 166.8454 \text{ mm}$
 $M_n = A_s f_y (d - \frac{1}{2} a) = 259.243.733 \text{ Nmm}$

$\phi M_n \geq M_u$
 $207.394.987 \geq 77.625.000$

- Kapasitas momen lapangan yang dibutuhkan adalah sebesar 77,625 kNm
- Kapasitas momen tumpuan yang tersedia adalah sebesar 207,394 kNm, di atas yang dibutuhkan sebesar 158,213 kNm.

C. PERANCANGAN KOLOM BIAKSIAL

Proyek : PTM
 Portal :
 Elemen : K2

METODE BRESLER-PARME/FAKTOR KONTUR

1. Data
 $M_{u,x} = 69.679.500 \text{ Nmm}$
 $M_{u,y} = 7.712.900 \text{ Nmm}$
 $P_u = 409.787 \text{ N}$
 $b = 350 \text{ mm}$
 $h = 350 \text{ mm}$
 $d' = 58 \text{ mm}$
 $f_c' = 17.41672 \text{ MPa}$
 $f_y = 340 \text{ MPa}$
 $\phi = 0.7$
 $\beta_1 = 0.85$

2. Perhitungan
 $M_{n,x} = \frac{M_{u,x}}{\phi} = 9.954E+07 \text{ Nmm}$
 $M_{n,y} = \frac{M_{u,y}}{\phi} = 1.102E+07 \text{ Nmm}$
 $P_n = \frac{P_u}{\phi} = 585.410.000 \text{ N}$

Kontrol nilai perbandingan:
 $\frac{M_{n,y}}{M_{n,x}} = 0.111$ $\frac{b}{h} = 1.000$
 jika $\frac{M_{n,y}}{M_{n,x}} > \frac{b}{h} \rightarrow$ perhitungan dimulai pada sumbu: Y
 jika $\frac{M_{n,y}}{M_{n,x}} \leq \frac{b}{h} \rightarrow$ perhitungan dimulai pada sumbu: X

3. Perhitungan pada sumbu: X
 Asumsi nilai $\beta = 0.66$
 $M_{o,y} = M_{n,y} + M_{n,x} \frac{b}{h} \left(\frac{1-\beta}{\beta} \right) = 0.000E+00 \text{ Nmm}$
 $M_{o,x} = M_{n,x} + M_{n,y} \frac{h}{b} \left(\frac{1-\beta}{\beta} \right) = 1.052E+08 \text{ Nmm}$

Dimensi terpakai:
 $b = 350 \text{ mm}$
 $h = 350 \text{ mm}$
 $d = 292 \text{ mm}$

- Kapasitas momen lapangan yang tersedia adalah sebesar 207,394 kNm

Dari perhitungan balok di atas diketahui fakta-fakta sebagai berikut:

- Kapasitas momen tumpuan yang dibutuhkan adalah sebesar 158,231 kNm

Analisis Struktur Bangunan Pasar Tradisional (Ptm) Kota Bengkulu Pasca Kebakaran

Tentukan nilai ρ total, dengan batasan:
 $1\% \leq \rho_t \leq 8\%$
 $A_s = A_s' = \rho b d$

$\rho = \frac{0.010}{511.000} \text{ mm}^2$

Penulangan:
 jumlah (n) = 3.0000 → 3 D 16
 diameter (D) = 14.7304

$A_{s \text{ aktual}} = n \frac{1}{4} \pi D^2 = 602.880 \text{ mm}^2$
 $\rho_{\text{aktual}} = \frac{A_{s \text{ aktual}}}{bd} = 0.006$

Kondisi keruntuhan *balanced*:
 $c_b = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}} d = 189.649 \text{ mm}$
 $a_b = \beta_1 c_b = 161.202 \text{ mm}$
 $f_s' = 0.003 E_s \frac{c_b - d'}{c_b} = 437.329 \text{ MPa}$

jika nilai $f_s' \geq f_y$ → digunakan nilai f_y
 jika nilai $f_s' < f_y$ → digunakan nilai f_s'
 jadi nilai $f_s' = 340.000 \text{ MPa}$

$P_{n,b} = 0.85 f_c' b a_b + A_s' f_s' - A_s f_y = 835.264.324 \text{ N}$
 $M_{n,b} = 0.85 f_c' b a_b \left(y - \frac{a_b}{2} \right) + A_s' f_s' (y - d') + A_s f_y (d - y) = 1.268 \text{E}+08 \text{ Nmm}$
 $e_b = \frac{M_{n,b}}{P_{n,b}} = 151.824 \text{ mm}$
 $e_- = \frac{M_{o,-n}}{P_n} = 179.734 \text{ mm}$

Kontrol kondisi keruntuhan:
 jika nilai $e_b = e_-$ → merupakan keruntuhan *balanced*
 jika nilai $e_b > e_-$ → merupakan keruntuhan tekan
 jika nilai $e_b < e_-$ → merupakan keruntuhan tarik

Keruntuhan tarik:
 $\left(\frac{h-2e}{2d} \right) = -0.016$
 $\left(1 - \frac{d'}{d} \right) = 0.801$
 $\frac{f_y}{0.85 f_c'} = 22.966$

Peningkatan faktor reduksi faktor reduksi:
 $\frac{P_{n, \text{terpakai}}}{680.920.542} > \frac{0.1 f_c' A_g}{213.354.820}$ → memenuhi, nilai ϕ tetap
 → kasus sebaliknya:
 $\phi = 0.9 - \frac{2 \phi P_u}{f_c' A_g} = 0.453$
 jadi nilai $\phi = 0.700$

Kontrol nilai momen nominal sumbu: X
 $M_{o,-n} = 0.85 f_c' b d \left(y - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' (y - d') + A_s f_y (d - y) = 1.224 \text{E}+08 \text{ Nmm}$
 $M_{o,-n} \geq M_{o,-n} \rightarrow 1.224 \text{E}+08 \geq 1.052 \text{E}+08$
 → memenuhi, perhitungan dapat dilanjutkan
 → sebaliknya, perbesar nilai ρ

4. Perhitungan pada sumbu: Y
 Dimensi terpakai:
 $b = 350 \text{ mm}$
 $h = 350 \text{ mm}$
 $d = 292 \text{ mm}$

Prosedur coba-coba:
 Tentukan nilai $c = 132.919 \text{ mm}$
 $a = \beta_1 c = 112.981 \text{ mm}$
 $f_s' = 0.003 E_s \frac{c - d'}{c} = 355.096 \text{ MPa}$
 $f_s' \text{ terpakai} = 340.000 \text{ MPa}$
 $f_s = 0.003 E_s \frac{d - c}{c} = 753.998 \text{ MPa}$
 $f_s \text{ terpakai} = 340.000 \text{ MPa}$
 $P_n = 0.85 f_c' b a + A_s' f_s' - A_s f_y = 585.410.000 \text{ N}$
 Prosedur coba-coba dilakukan sehingga nilai P_n konvergen dengan
 nilai $\frac{P_u}{\phi} = 585.410.000 \text{ N}$
 $M_{o,-n} = 0.85 f_c' b d \left(y - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' (y - d') + A_s f_y (d - y) = 1.173 \text{E}+08 \text{ Nmm}$

Kontrol nilai momen nominal sumbu: Y
 (Gunakan grafik faktor kontur) $\beta = 0.66$
 $\frac{M_{n,-n}}{M_{o,-n}} \text{ (sumbu: X)} = 0.813$
 $z = \frac{M_{n,-n}}{M_{o,-n}} \text{ (sumbu: Y)} = 0.478$

$P_{n,1} = 0.85 f_c' b d \left\{ \frac{h-2e}{2d} + \sqrt{\left(\frac{h-2e}{2d} \right)^2 + 2 \frac{f_y}{0.85 f_c'} \rho \left(1 - \frac{d'}{d} \right)} \right\} = 680.920.542 \text{ N}$

Keruntuhan Tekan:
 $\left(\frac{e}{d - d'} \right) = 0.000$
 $\left(\frac{3he}{d^2} \right) = 0.000$
 $P_{n,2} = \frac{A_s' f_y}{d - d' + 0.5} + \frac{b h f_c'}{3he/d^2 + 1.18} = 0.000 \text{ N}$

Kontrol keserasian tegangan:
 $P_n = 680.920.542 \text{ N}$
 $a = \frac{P_n}{0.85 f_c' b} = 131.414 \text{ mm}$
 $c = \frac{a}{\beta_1} = 154.605 \text{ mm}$
 $f_s' = 0.003 E_s \frac{c - d'}{c} = 393.656 \text{ MPa}$
 $f_s' \text{ terpakai} = 340.000 \text{ MPa}$
 $f_s = 0.003 E_s \frac{d - c}{c} = 559.869 \text{ MPa}$
 $f_s \text{ terpakai} = 340.000 \text{ MPa}$
 jika nilai $f_s' < f_y$ → nilai P_n tidak dapat digunakan, gunakan "Prosedur Coba-coba"

Prosedur coba-coba:
 Tentukan nilai $c = 68.611 \text{ mm}$
 $a = \beta_1 c = 0.000 \text{ mm}$
 $f_s' = 0.003 E_s \frac{c - d'}{c} = 0.000 \text{ MPa}$
 $f_s' \text{ terpakai} = 0.000 \text{ MPa}$
 $f_s = 0.003 E_s \frac{d - c}{c} = 0.000 \text{ MPa}$
 $f_s \text{ terpakai} = 0.000 \text{ MPa}$
 $P_n = 0.85 f_c' b a + A_s' f_s' - A_s f_y = 0.000 \text{ N}$
 $M_n = 0.85 f_c' b d \left(y - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' (y - d') + A_s f_y (d - y) = 0.000 \text{E}+00 \text{ Nmm}$
 $e_1 = \frac{M_n}{P_n} = 0.000 \text{ mm}$

Prosedur coba-coba dilakukan sehingga nilai e_1 konvergen dengan nilai $e_- = 0.000 \text{ mm}$

| | |
|---|--|
| $M_{n_{uz}} = z M_{u_{z,n}} = 5.604E+07 \text{ Nmm}$ | |
| $M_{n_{uz}} \geq \frac{M_{u_{z,n}}}{\phi}$ | $\rightarrow 5.604E+07 \geq 1.102E+07$ |
| <p>→ memenuhi, perhitungan selesai !!! → sebaliknya, sesuaikan nilai β → jika masih tidak memenuhi, perbesar nilai ρ</p> | |
| <p>5. Penulangan total penampang kolom:</p> | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> 8 D 16 </div> |

Dari perhitungan kolom di atas diketahui fakta-fakta sebagai berikut:

1. Kapasitas momen x yang dibutuhkan adalah sebesar 105.2 kNm
2. Kapasitas momen y yang dibutuhkan adalah sebesar 11.02 kNm
3. Kapasitas aksial yang dibutuhkan adalah sebesar 409 kN
4. Kapasitas momen x yang tersedia pada kapasitas aksial 409 kN adalah sebesar 122.4 kNm di atas yang dibutuhkan sebesar 105.2 kNm.
5. Kapasitas momen `y yang tersedia pada kapasitas aksial 409 kN adalah sebesar 56.04 kNm di atas yang dibutuhkan sebesar 11.02 kNm.
6. Dari analisis struktur di atas dapat diketahui bahwa elemen struktur yang terdampak kebakaran mengalami kondisi yang tidak aman pada sebagian balok dan seluruh kolomnya, sedangkan pada bagian bangunan yang tidak terdampak kebakaran, seluruh kolom dan sebagian baloknya juga telah dalam kondisi yang tidak aman.
7. Mode mode kerusakan yang terjadi (*spalling*, *crack* dan *deflection*) konsisten dengan mode kerusakan yang biasa terjadi pada struktur pasca kebakaran.
8. Terjadinya *spalling* yang mengakibatkan penulangan akan terekspose suhu yang tinggi karena struktur tidak lagi memiliki selimut beton yang dapat melindungi tulangan.
9. *Crack*/retak yang terjadi, akibat menurunnya mutu beton dan terpaparnya tulangan pada suhu tinggi, yang menyebabkan mutu / kekuatan tarik tulangan yang mengalami penurunan sangat jauh dibanding kekuatan awalnya, sehingga ketika terpapar panas dan tetap menerima tegangan tarik, besi tulangan

akan mengalami perpanjangan (elongation) yang signifikan dan menyebabkan retak pada daerah tarik struktur.

10. *Deflection*, yang disebabkan oleh elongation penulangan yang cukup besar sehingga menyebabkan tulangan kehilangan kapasitas fungsinya sebagai penahan gaya tarik.
11. Beberapa efek dari kerusakan ini terhadap kinerja struktural antara lain:
12. Penulangan beton terekspos pada suhu yang sangat tinggi ketika terjadi kebakaran, yang menyebabkan mutu tulangan menurun secara signifikan.
13. Kapasitas lentur, geser dan aksial pada penampang struktural baik *slab*, balok dan kolom akan tereduksi dengan signifikan akibat adanya penurunan mutu beton, mutu baja penulangan dan pengurangan luas penampang akibat adanya *spalling* dan *crack*.
14. Kekakuan yang berkurang secara signifikan pada struktur, yang akan menyebabkan struktur terasa bergetar / berayun ketika diberikan beban yang bersifat dinamik dan tidak nyaman untuk digunakan.

KESIMPULAN

Dari hasil pemeriksaan, pengamatan secara visual, kalkulasi dan analisis dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Material struktur telah mengalami degradasi pasca peristiwa kebakaran juga terlihat dari perubahan warna pada elemen struktur yang terbakar
2. Kerusakan struktural yang terjadi berupa *spalling*, *cracking* & *deflection* konsisten dengan mode kerusakan yang biasa terjadi pasca kejadian kebakaran
3. Struktur sebelum peristiwa kebakaran memiliki kinerja yang memuaskan (aman) dengan mengacu pada peraturan / standar terdahulu yang kemungkinan diacu dalam desain struktural gedung PTM

4. Terdapat perbedaan hasil analisis jika menggunakan data hasil penyelidikan dengan metode *core drill* dan Schmidt *hammer*.
5. Sebagian besar elemen struktur yang terdampak kebakaran tidak memiliki kinerja yang memenuhi standar dan tidak dapat digunakan kembali sebelum adanya perlakuan baik perbaikan, perkuatan atau pembongkaran dan pembangunan kembali, jika mengacu pada peraturan / standar terdahulu yang kemungkinan diacu dalam desain struktural gedung PTM dan data *core drill*.
6. Elemen struktur yang terdampak kebakaran masih memiliki kinerja yang memenuhi standar jika mengacu pada peraturan / standar terdahulu yang kemungkinan diacu dalam desain struktural gedung PTM dan data *hammer*.
7. Struktur yang tidak terdampak kebakaran masih memiliki kinerja yang memenuhi standar.
8. Struktur PTM secara keseluruhan tidak memiliki kapasitas yang memenuhi standar jika mengacu pada standar / peraturan yang mutakhir, akibat adanya perubahan / perbesaran pembebanan yang diatur dalam standar (sebelumnya 250 kg/m² yang mengacu pada PPIUG 1983 menjadi 366 kg/m² yang mengacu pada SNI 1727 2013) serta akibat adanya perubahan peraturan kegempaan yang diacu pada SNI 1726 2012, dengan asumsi struktur berada di atas tanah lunak, faktor keutamaan gedung = 1, klasifikasi situs SD, respon spektra gempa kota Bengkulu.

SARAN

Dari kesimpulan dapat diberikan saran sebagai berikut:

1. Terdapat perbedaan hasil analisis dengan menggunakan data hasil uji dengan metode *core drill* dan *hammer*. Disarankan melakukan pengambilan keputusan dengan menggunakan hasil analisis dengan data *core drill*, mengingat

hasil uji dengan metode *hammer* adalah pendekatan, dan secara standar tidak dapat digunakan sebagai dasar penerimaan atau penolakan hasil pekerjaan.

2. Perlu diberikan perlakuan khusus kepada struktur bangunan PTM yang terdampak kebakaran sebelum dapat digunakan kembali
3. Perlakuan khusus dapat berupa perbaikan, perkuatan struktural, pembongkaran dan pembangunan kembali atau kombinasi dari metode-metode tersebut
4. Perlu diadakan kajian khusus untuk struktur bangunan PTM keseluruhan secara komprehensif dengan data-data yang lebih akurat (data *site*) untuk meningkatkan kinerja struktural eksisting (dengan perkuatan atau *retrofit*) yang tidak terdampak kebakaran untuk memenuhi tuntutan standar mutakhir yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrizal, Y, 2014, '*Analisis kekuatan beton pascabakar dengan metode numerik*', vol. 1, no. 13, hh 2-7.
- Afrizal, Y, 2015, '*Karakteristik beton pasca bakar dengan variasi waktu pembakaran*', Jurnal Teknosia, 2(15), 9-16.
- Badan Standar Nasional, SNI 1727 2013, '*Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*'
- Badan Standar Nasional, SNI 2847 2013, '*Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*'
- Badan Standar Nasional, SNI 1726 2012, '*Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*'
- Mulyono, Tri, 2003, '*Teknologi beton*', Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
- Munaf dan Siahaan, 2003, '*Diagnosa dan perbaikan untuk peningkatan kinerja struktur beton*', Concrete Repair & Maintenance.

- Neville, A. M., 1975, *'Properties of Concrete'*,
The English Language Book Society
& Pitman Publishing, London.
- PPIUG 1983, *Peraturan Pembebanan
Indonesia Untuk Gedung*
- Rizal, F. 2006, *'Evaluasi kekuatan dan metode
perbaikan struktur beton pada gedung
pasca kebakaran'*, Jurnal Teknik Sipil
Politeknik Negeri Lhokseumawe,
Aceh
- Tjokrodinuljo, K. (2000), *'Pengujian mekanik
laboratorium beton pasca bakar'*,
PAU Ilmu Teknik, Universitas Gadjah
Mada, Yogyakarta.
- Triwiyono, A, 2000, *'Kerusakan struktur
gedung pasca kebakaran'*, Universitas
Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wiranata, A, 2016, *'Pengaruh suhu dan waktu
pembakaran terhadap kuat tekan
mortar pada umur 28 hari'*, Skripsi
Jurusan Teknik Sipil UNIB.