

# Analisa Kinerja Struktur Beton Bertulang Pasca Kebakaran

Abdullah Latip<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Dosen, Jurusan Sipil PNUP, Jalan Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea, Makassar, 90245, Indonesia

<sup>a</sup> latip-uh03@poliupg.ac.id

*Abstract—This Paper aims to analyze the performance level of Pasar Butung post-fire on December 15, 2010. The fire was centered on the 1st and 2nd floor. Data retrieval include visual observation, carbonation test, concrete hammer test, concrete core test and tensile test of steel reinforcement that was held on January, 2011. All data that was taken will use to analyze the structure. Observations indicate that the temperature of the fire around 400°C. Beams and columns on floors 1 and 2 had cracks and the quality of concrete fell 62% from 21.15 MPa to 14 MPa at the outer cross-section. While the floor plates 2 and 3 having a width of cracks and residual concrete quality is only 11.57 MPa. Pushover analysis (static lateral load) is a nonlinear static analysis that can provide detailed information about the collapse behavior of structures against earthquake loads, while the performance point is the magnitude of the maximum displacement of the structure during an earthquake plan. Results of 3D nonlinear static pushover analysis on the structure of Pasar Butung shows that performance point is achieved when the base reaction V reach 484.97 tons with displacement of 0.021 m (2.1 cm) at step 3. Results of analysis showed that the performance of the structure is still within the limits of Life Safety*

*Keywords; Pasar Butung post-fire; Field Observation; Pushover; Life Safety*

*Abstrak—Pada tanggal 15 Desember 2010 telah terjadi kebakaran di Pasar Butung Makassar. Kebakaran tersebut berpusat di lantai 1 dan 2. Tulisan ini bertujuan untuk menganalisis kinerja struktur Pasar Butung pasca kebakaran. Pengambilan data meliputi pengamatan visual, pengujian karbonasi, pengujian alat palu beton, pengujian beton inti dan pengujian kuat tarik baja tulangan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa temperatur kebakaran sekitar 400°C. Balok dan kolom pada lantai 1 dan 2 mengalami retak rambut dan mutu beton turun 62% dari 21,15 MPa menjadi 14 MPa pada bagian luar penampang. Sedangkan pelat lantai 2 dan 3 mengalami retak lebar dan mutu beton sisa hanya 11,57 Mpa. Analisa pushover (beban dorong statik) adalah analisa statik nonlinier yang dapat memberikan informasi yang detail mengenai perilaku keruntuhan struktur terhadap beban gempa, sedangkan titik kinerja adalah besarnya perpindahan maksimum struktur saat gempa rencana. Hasil analisa beban dorong statik nonlinear 3D pada struktur Pasar Butung menunjukkan bahwa performance*

*point tercapai pada saat reaksi dasar V sebesar 484,97 ton dengan simpangan sebesar 0,021 m (2,1 cm) pada step 3. Hasil analisa menunjukkan bahwa kinerja struktur masih dalam batas Life Safety*

*Kata Kunci; Pasar Butung Pasca Kebakaran; Pemeriksaan Lapangan; Pushover; Life Safety*

## I. Pendahuluan

Berbagai penelitian sebelumnya memperlihatkan bahwa adanya penurunan kekuatan pada struktur pasca kebakaran dan tentunya akan diikuti penurunan kapasitas dari struktur tersebut. Komponen struktur seperti kolom, balok, dan pelat akan mengalami penurunan kekuatan pada saat dan setelah terjadi kebakaran. Tingkat kerusakan yang terjadi sangat tergantung pada intensitas api dan durasi kebakaran.

Pada tanggal 15 Desember 2010 telah terjadi kebakaran pada pasar Butung, Makassar. Pasar Butung yang berlokasi di jalan Butung Makassar adalah bangunan yang direncanakan sebagai pasar pusat grosir dan strukturnya didesain sebagai sistem konstruksi beton bertulang biasa. Sehingga muncul pertanyaan sebagai berikut :

1. Bagaimana kekuatan dan kapasitas struktur pasar Butung pasca kebakaran?
2. Bagaimana kinerja struktur pasar Butung pasca kebakaran terhadap beban gempa rencana?

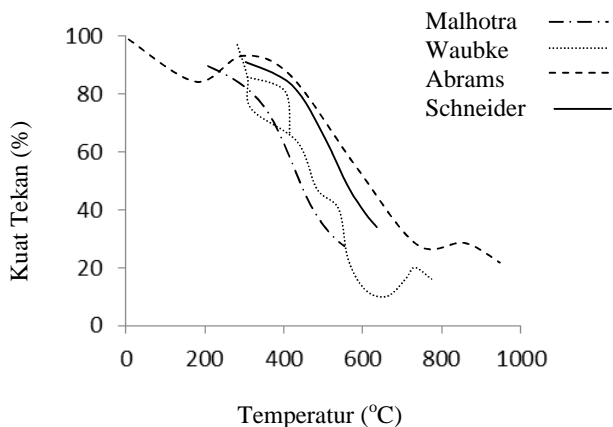
Menjawab pertanyaan tersebut, maka dilakukan penelitian ini dengan tujuan:

1. Menganalisis kekuatan dan kapasitas struktur pasar Butung pasca kebakaran.
2. Menganalisis kinerja struktur pasar Butung pasca kebakaran.
3. Menentukan metode perbaikan struktur pasar Butung pasca kebakaran.

### Pengaruh Temperatur Tinggi terhadap Beton

Temperatur yang terus meningkat akan menyebabkan proses karbonisasi yaitu terbentuknya Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang berwarna keputih-putihan sehingga mengubah warna permukaan beton menjadi lebih terang (pink keputih-putihan) [1].

Disebutkan dalam [2] bahwa kuat tekan beton akan mengalami penurunan seiring dengan kenaikan temperatur. Pada temperatur 200oC kekuatan sisa sebesar 95%, pada 400oC sebesar 62% dan pada 550oC sebesar 25%. Penurunan juga terjadi pada modulus elastisitas beton. Pada beton dengan faktor air sebesar 0,6 dan beban statik diperoleh modulus elastisitas sisa 90%, 58% dan 40% sedangkan pada faktor air semen 0,4 diperoleh sisa 80%, 60% dan 48% masing-masing pada temperatur 200oC, 400oC dan 550oC.



Gambar 1. Kuat tekan beton pada temperatur tinggi [2]

Penelitian [3], menunjukkan bahwa kapasitas momen pada balok yang telah terbakar sampai pada temperatur 200oC mengalami kenaikan sebesar 1,29% sedangkan pada temperatur 400oC momen sisa balok

sebesar 96,07%. Demikian halnya dengan frekuensi alami balok pada temperatur 200oC mengalami kenaikan sebesar 1,92% sedangkan pada temperatur 400oC frekuensi alami sisa sebesar 92,31%.

[4] menyatakan bahwa kekuatan beton setelah dingin bervariasi tergantung pada temperatur yang dicapai, lamanya pemanasan, proporsi campuran, agregat yang digunakan dan beban yang bekerja selama pemanasan. Untuk temperatur sampai pada 300°C, penurunan kekuatan dari struktur beton tidak signifikan. Pada temperatur diatas 300°C akan mulai terjadi penurunan kekuatan secara signifikan. Pada temperatur yang lebih tinggi lagi atau di atas 500°C maka beton akan mulai mengalami retak dan hancur (spalling) dengan kuat tekan sisa sudah tidak lagi baik untuk digunakan untuk struktur (sebaiknya dibongkar).

### Pengaruh Temperatur Tinggi terhadap Baja Tulangan

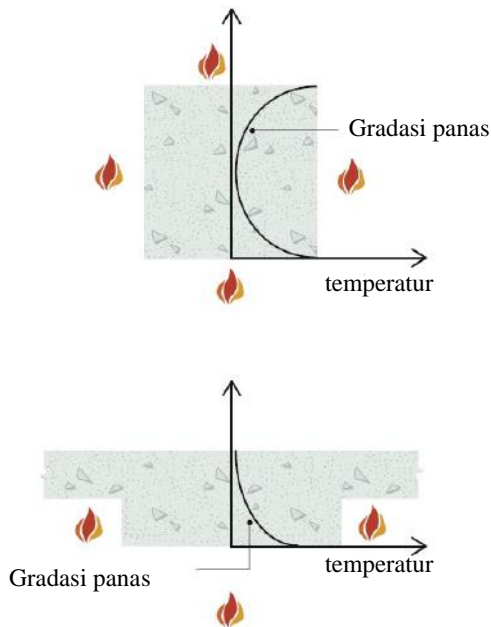
Penelitian Ilker. B dan C. Karakurt (2008), menunjukkan bahwa nilai rata-rata hubungan tegangan-regangan pada baja tulangan jenis S220 dan S420 yang dipanaskan pada berbagai tingkat temperatur kemudian dibiarkan dingin secara alami sampai suhu kamar yaitu pada temperatur dibawah 500°C tidak terjadi perubahan yang signifikan pada sifat mekanis baja baik pada tegangan leleh, tegangan ultimit dan regangan maksimumnya.

### Pengaruh Lama Kebakaran terhadap Kekuatan Elemen Struktur

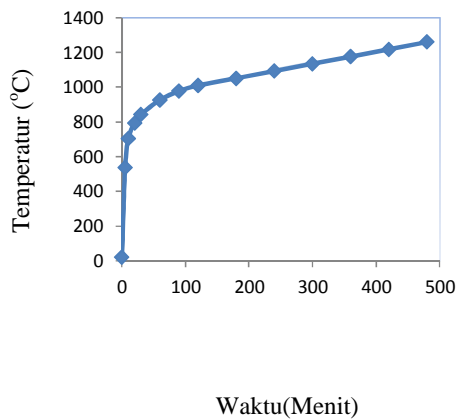
Penurunan kekuatan tidak seragam pada seluruh penampang elemen. Bagian terluar dari elemen akan menerima panas yang lebih besar daripada bagian yang lebih dalam. Gambar.2. berikut ini menunjukkan secara skematik bagaimana gradasi temperatur pada suatu penampang kolom dan balok pada saat terjadi kebakaran.

Temperatur yang tercapai selama terjadi kebakaran tergantung pada intensitas kebakaran, durasi kebakaran dan layout bangunan. Pendekatan untuk memperkirakan temperatur yang tercapai selama terjadi kebakaran adalah dengan menggunakan kurva waktu-temperatur

standar yang terdapat pada ASTM E119 pada Gambar. 3. di dibawah.



Gambar. 2. Gradasi panas pada penampang kolom dan balok yang terbakar



Gambar. 3. Kurva waktu-temperatur standar (ASTM E119)

Kapasitas Momen Elemen Struktur

Suatu elemen struktur baik balok, kolom ataupun pelat yang telah terbakar akan mengalami penurunan kapasitas momennya. Seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa penurunan kuat tekan penampang balok akan berbeda pada lapisan luar dan dalam akibat adanya perbedaan temperatur dimana sampai pada temperatur

300°C belum terjadi penurunan kuat tekan yang signifikan pada beton. Dengan alasan tersebut sehingga penampang elemen struktur akan dibagi menjadi 2 bagian, yaitu 1) bagian penampang yang telah mencapai temperatur diatas 300°C dan 2) bagian yang belum mencapai temperatur 300°C. Kedua bagian tersebut akan dianalisis sebagai sebuah penampang komposit. Bagian penampang yang telah mencapai temperatur diatas 300°C akan ditransformasi menjadi penampang yang belum mencapai 300°C.

Analisa Statik Linear menurut SNI 03-1726-2003

Menurut SNI 03-1726-2003 Pasal 6.1.2, menyatakan bahwa beban geser dasar nominal statik ekuivalen dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$V = \frac{C \cdot I}{R} \cdot W_t \tag{1}$$

dimana :

- C = faktor respon gempa berdasarkan SNI 03-1726-2003
- I = faktor keutamaan
- R = faktor reduksi Gempa
- W<sub>t</sub> = berat total Struktur

Beban geser dasar nominal V menurut Persamaan. 1. diatas harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F<sub>i</sub> yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke-i menurut persamaan :

$$F_i = \frac{W_i \cdot z_i}{\sum W_i \cdot z_i} \cdot V \tag{2}$$

dimana :

- W<sub>i</sub> = berat lantai ke-i
- z<sub>i</sub> = ketinggian lantai tingkat ke-i

Faktor respon gempa (C) ditentukan berdasarkan grafik respon spektrum pada wilayah gempa yang sesuai. Dalam analisis ini digunakan wilayah gempa 2 (lokasi bangunan di Makassar).

Waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan dalam arah masing-masing sumbu utama dapat ditentukan dengan rumus Rayleigh sebagai berikut :

$$T1 = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_i^n W_i \cdot d_i^2}{g \cdot \sum_i^n F_i \cdot d_i}} \quad (3)$$

dimana :

$d_i$  = simpangan horisontal lantai tingkat ke- $i$

$g$  = gravitasi (9810 m/detik)

#### Analisa Dinamik Linear menurut SNI 03-1726-2003

Menurut SNI 1726-2003, perhitungan respon dinamik struktur tidak beraturan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dapat dilakukan dengan metode ragam spektrum respon dengan memakai metode Spektrum Respon Gempa Rencana menurut SNI-03-1726-2003 dibuat berdasarkan percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun. Menurut SNI 1726-2003, nilai akhir respon dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respon ragam yang pertama. Bila respon dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal  $V$ , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan menurut persamaan berikut:

$$V1 > 0,8 V_i \quad (4)$$

Dimana gaya  $V_i$  adalah gaya geser dasar nominal sebagai respon ragam yang pertama terhadap pengaruh gempa rencana menurut Persamaan (1).

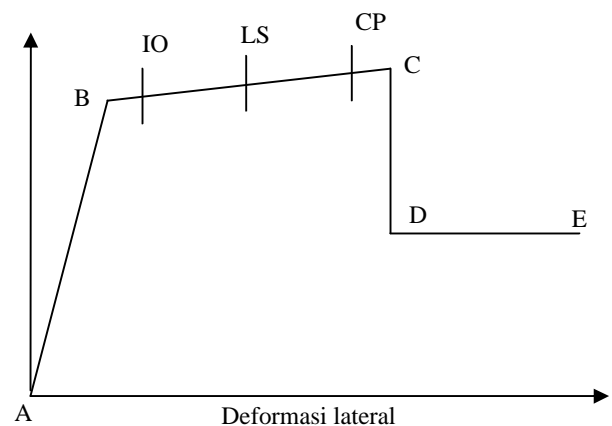
#### Tingkat kinerja struktur (Performance Level)

1. *Operation* / Operasi. Pada level ini bangunan dapat berfungsi dengan baik, tidak terdapat kerusakan berarti pada komponen struktural maupun nonstruktural.
2. *Immediate Occupancy (IO)* / Segera difungsikan. Ditandai dengan kerusakan kecil pada struktur bangunan. Resiko korban jiwa sangat rendah dan mungkin dibutuhkan sedikit perbaikan pada struktur akan tetapi secara umum bangunan dapat segera digunakan kembali.
3. *Life Safety (LS)* / Keselamatan pengguna. Ditandai dengan adanya kerusakan yang cukup signifikan pada struktur, tetapi tidak mengalami keruntuhan parsial

ataupun total. Korban jiwa mungkin ada akan tetapi dalam jumlah yang sedikit. Struktur tetap bisa diperbaiki walaupun secara ekonomi mungkin tidak menguntungkan.

4. *Collaps Prevention (CP)* / Diambang keruntuhan. Ditandai dengan adanya kerusakan yang parah pada struktur. Setelah terjadi gempa, struktur berada diambang keruntuhan baik sebagian ataupun keseluruhan. Bagaimanapun, struktur harus tetap mampu menahan beban gravitasi. Korban jiwa yang cukup signifikan akibat reruntuhan puing bangunan. Pada level ini struktur tidak memungkinkan lagi untuk diperbaiki.

Adapun tingkat kinerja bangunan dapat ditampilkan dalam suatu skema hubungan gaya lateral dengan deformasi lateral seperti pada Gambar. 6. Notasi A, B, IO, LS, CP, C, D dan E adalah titik kontrol perpindahan yang memberikan informasi kinerja struktur.



Gambar. 4. Kurva hubungan gaya-deformasi lateral [5]

Pada interval B ke C, terdapat titik-titik IO, LS dan CP yang menyatakan tingkat kinerja dari struktur tersebut. Nilai-nilai dari titik-titik tersebut terdapat di dalam FEMA 356, yang merupakan panduan dalam analisis non linear.

#### Simpangan Struktur (Structural Drift)

Simpangan struktur (structural drift) adalah perbandingan antara pergeseran suatu titik acuan pada struktur (biasanya pada atap) terhadap tinggi bangunan.

Nilai simpangan sangat erat hubungannya dengan kinerja struktur.

$$DR = \frac{d}{H} \times 100\% \tag{5}$$

dimana :

DR = drift ratio (%)

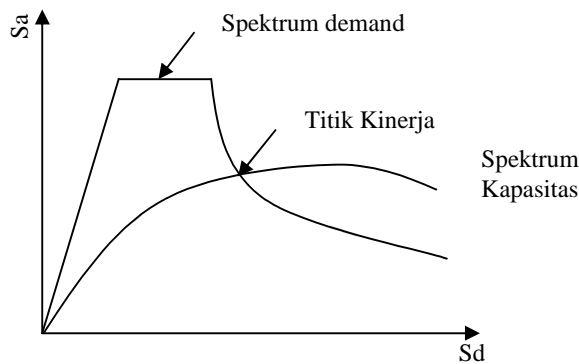
d = simpangan atap (m)

H = tinggi bangunan (m)

Dalam FEMA 356, nilai rasio simpangan struktur ditunjukkan pada Tabel. 1. dimana nilai maksimum adalah 4% untuk kondisi Collapse Prevention (CP).

**Spektrum Kapasitas**

Dalam metode spektrum kapasitas memperlihatkan dua buah spektrum yaitu spektrum kapasitas dan spektrum demand. Spektrum kapasitas (capacity spectrum) adalah hubungan antara gaya dorong dasar total (base shear) dengan perpindahan lateral struktur (biasanya diukur pada puncak bangunan).



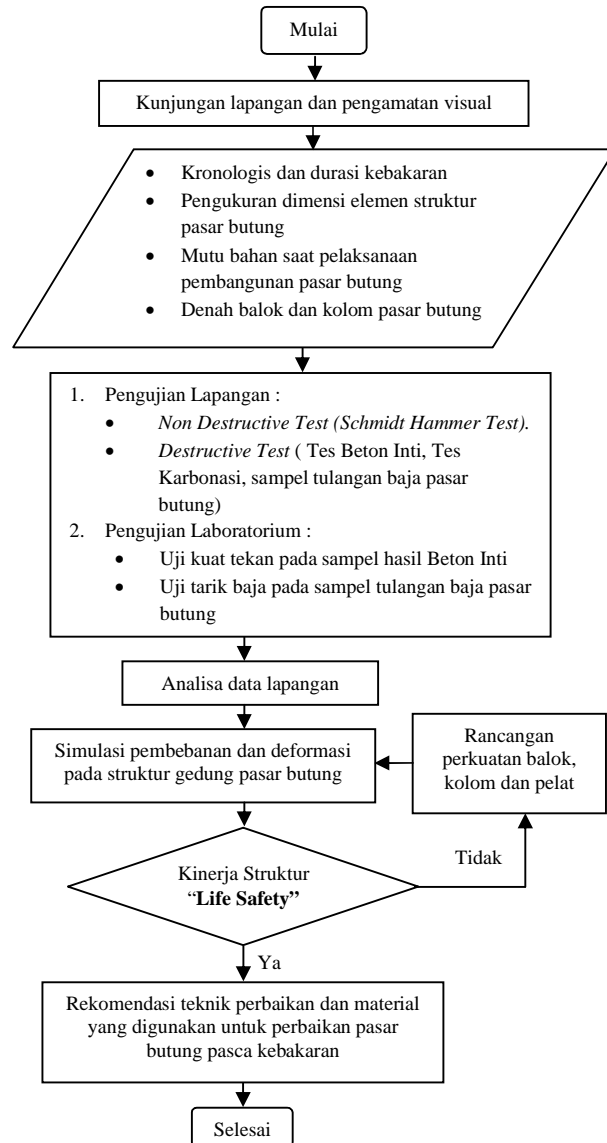
Gambar. 5. Titik kinerja struktur gedung [6]

Spektrum kapasitas diperoleh dari kurva kapasitas dari analisa pushover. Untuk mendapatkan titik kinerja (performance point), kurva kapasitas harus diubah menjadi spektrum kapasitas dengan format spektral percepatan, Sa, dan spektral perpindahan, Sd, yang biasa disebut Acceleration-Displacement Respon Spectra (ADRS). Perpotongan kedua spektrum tersebut

memberikan titik kinerja struktur saat menerima beban gempa rencana.

**II. Metode Penelitian**

Penelitian dimulai dengan pengambilan data mengenai kronologis, durasi, dan pusat terjadinya kebakaran.



Gambar. 6. Bagan alir penelitian

Data tersebut diperoleh dari pihak pengelola pasar yang merupakan penanggungjawab kegiatan di pasar Butung. Penelitian dilanjutkan dengan pengujian lapangan yang mencakup pengamatan visual, pengujian

karbonasi, pengujian alat palu beton, pengujian beton inti dan pengujian kuat tarik baja tulangan. Hasil pengujian akan menjadi dasar dalam analisa struktur sebagai input dalam perhitungan dalam proram komputer yang digunakan dalam analisis.

### III. Hasil dan Pembahasan

#### Pengamatan Visual

Seluruh elemen struktur pada lantai 1 dan 2 telah mengalami retak rambut. Pada beberapa balok anak telah mengalami retak lebar sampai 1,5 cm dan lendutan mencapai 5 cm. Elemen struktur pada lantai 3 dan 4 secara umum tidak mengalami kerusakan yang berarti dimana retak rambut hanya terjadi pada permukaan plesteran dan tidak sampai pada elemen di dalamnya serta tidak terjadi lendutan.



Gambar. 7. Kondisi pelat lantai 2 pasca kebakaran

Berdasarkan hasil pengamatan visual dimana terlihat bahwa terjadi perubahan warna beton menjadi putih dan keabu-abuan dapat kita simpulkan bahwa temperatur yang tercapai pada saat terjadi kebakaran pada lantai 1 dan 2 adalah sekitar 400°C, sehingga kuat tekan beton sisa dapat diperkirakan dengan menggunakan kurva hubungan kuat tekan beton – temperatur pada Gambar. 2. dimana dapat diperkirakan bahwa kuat tekan sisa beton adalah 62% terhadap kuat tekan awalnya. Kuat tekan awal beton berdasarkan keterangan dari pihak kotraktor adalah K250, sehingga kuat tekan beton sisa dapat dihitung sebagai berikut:

$$f'c \text{ sisa (teori)} = 62\% \times 250 \text{ kg/cm}^2 \\ = 155 \text{ kg/cm}^2$$



Gambar. 8. Kondisi balok dan kolom praktis lantai 1 pasca kebakaran



Gambar. 9. Pengujian alat palu beton tipe N

#### Pengujian Alat Palu Beton

Kuat tekan rata-rata pada kolom dan balok lantai 1 dan 2 diperkirakan adalah 14 MPa. Untuk kolom dan balok pada lantai 3 dan 4 diperkirakan adalah 20 MPa. Untuk balok anak dan pelat lantai 1 dan 2 diperkirakan adalah 12 MPa. Sedangkan untuk balok anak dan pelat lantai 3 dan 4 diperkirakan adalah 20 MPa. Hasil pengujian alat palu beton menjadi dasar dalam analisis dan pemodelan struktur pada software yang digunakan karena data ini dianggap dapat mewakili nilai kuat tekan sisa.

### Pengujian Beton Inti

Kuat tekan sisa beton diukur secara langsung dengan menggunakan benda uji beton inti. Sampel beton inti diambil pada pelat lantai 2 dan 3. Sampel beton inti hanya memungkinkan untuk diambil pada pelat lantai karena tidak terdapat balok ataupun kolom yang dibongkar untuk diambil sampel beton ini. Sampel pengujian beton inti memiliki diameter rata-rata 70 mm. Sampel benda uji yang telah diambil kemudian diuji di laboratorium. Hasil pengujian pada tiga sampel beton inti menunjukkan bahwa kuat tekan beton rata-rata 11,57 N/mm<sup>2</sup>, yang berarti telah mengalami penurunan sebesar 45,30% dari kuat tekan awalnya.



Gambar. 10. Pengambilan sampel beton inti

### Pengujian Karbonasi

Hasil pengujian karbonasi pada seluruh elemen struktur diperoleh bahwa rata-rata karbonasi pada elemen kolom lantai 1 dan 2 belum terjadi sampai pada kedalaman 0,5 - 1 cm dan pada lantai 3 dan 4 sampai kedalaman 0,3 - 0,5 cm. Pada elemen balok lantai 1 dan 2 karbonasi belum terjadi sampai pada kedalaman 0,5 - 1 cm dan pada lantai 3 dan 4 sampai kedalaman 0,3 - 0,5 cm. Sedangkan untuk elemen pelat pada lantai 2 dan 3 karbonasi pada bagian yang retak lebar atau lebih dari 2,5 cm dan pada bagian yang tidak retak sampai kedalaman 0,5 - 1,5 cm.

Tabel. 2. Perbandingan kuat tekan beton sisa pasca kebakaran

Elemen Struktur	Kuat tekan (MPa)			
	Kuat tekan awal	Teori	Alat Palu Beton	Beton Inti
Kolom dan balok lt 1-2	21,15	13,11	14	-
Pelat lt 2-3	21,15	13,11	14	11,57
Kolom dan balok lt 3-4	21,15	21,15	20	-
Pelat lt 4-atap	21,15	21,15	20	-

### Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa baja tulangan diameter 8 mm dan 10 mm memiliki kuat leleh masing-masing 384,996 MPa dan 320,412 MPa. Dari hasil pengujian baja tulangan dapat disimpulkan bahwa baja tulangan yang ada didalam struktur secara umum masih baik dan memiliki kekuatan yang cukup tinggi yaitu masih diatas 300 MPa. Berdasarkan data hasil pengujian diatas maka dalam analisa struktur digunakan mutu beton 14 dan 20 MPa.

### Kapasitas momen elemen struktur

#### Kapasitas momen balok

Berdasarkan data hasil pengujian diatas dengan menggunakan nilai kuat tekan sisa sebesar 14 MPa pada bagian penampang terluar beton dan mutu baja sisa sebesar 320 MPa, maka kapasitas momen balok dapat dihitung seperti pada tabel berikut ini :

#### Kapasitas momen kolom

Dengan menggunakan data hasil pengujian yang sama dengan data pada perhitungan balok diatas maka kapasitas momen kolom dapat dihitung seperti pada tabel berikut ini :

Tabel. 3. Tabel perbandingan kapasitas momen balok pasca kebakaran

Elemen struktur	A	B	C
<b>Balok B1</b>			
Tumpuan	326,09	306,43	93,97%
Lapangan	341,46	319,31	93,51%
<b>Balok B2</b>			
Tumpuan	220,17	207,04	94,03%
Lapangan	177,06	166,44	94,01%
<b>Balok Ba</b>			
Tumpuan	127,37	119,64	93,93%
Lapangan	96,05	91,77	95,54%

Tabel. 4. Tabel perbandingan kapasitas momen kolom pasca kebakaran

Elemen struktur	A	B	C
<b>Kolom K1</b>			
Pu	962,70	890,27	92,48%
Mu	191,76	177,30	92,46%
<b>Kolom K2</b>			
Pu	962,70	890,27	92,48%
Mu	159,45	146,89	92,12%

dimana :

A = kapasitas momen awal (KN.m)

B = kapasitas momen pasca kebakaran (KN.m)

C = persentase momen sisa

#### Analisa Struktur

1. Perhitungan berat total bangunan dengan bantuan *software*.

Perhitungan berat total struktur dapat dilihat pada tabel 5.

2. Waktu getar alami fundamental bangunan

$$T_1 = \xi \cdot H_n^{3/4}$$

$$T_1 = 0,102 \times 19,00^{3/4} = 0,928 \text{ dtk}$$

Tabel. 5. Berat bangunan hasil perhitungan

Lantai	Beban Hidup	Beban Mati	DL + 30% LL
Atap	348.000	2.160.458	2.265.039
Lantai 4	1.006.500	3.325.372	3.627.322
Lantai 3	1.209.000	3.678.084	4.040.785
Lantai 2	1.209.000	3.825.089	4.187.789
Lantai 1	871.5000	2.833.247	3.094.697
		TOTAL	17.215.631

3. Koefisien gempa dasar

Dari tabel 6 spektrum respon gempa rencana (SNI 03-1726-2003) diperoleh :

$$C = 0,23/0,928 = 0,248$$

4. Faktor keutamaan I

Berdasarkan desain struktur rangka beton di daerah rawan gempa (SNI 03-1726-2003 pasal 4.2) Tabel. 1 diperoleh faktor keutamaan I = 1,0 untuk gedung umum seperti untuk perumahan, perniagaan, dan perkantoran.

5. Faktor Reduksi Gempa (R)

Berdasarkan taraf kinerja struktur di daerah rawan gempa (SNI 03-1726-2003 pasal 4.4.4) tabel 2 dengan asumsi struktur adalah daktail parsial, untuk  $\mu = 2,1$  maka diperoleh nilai R= 3,5 (struktur berada pada wilayah gempa 2 dikategorikan SRPMB)

6. Gaya geser horizontal total akibat gempa

$$V_{total} = V_x = V_y = (C.I.Wt) / R$$

$$= 1.218,76 \text{ ton}$$

7. Distribusi gaya geser horizontal total.

Distribusi gaya geser horizontal total bangunan berdasarkan hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 6 berikut.



Tabel. 6. Gaya gempa statik ekuivalen

Tingkat	Fix,Fiy total	30% Fix.Fiy
Atap	283,66	118,74
4	362,21	151,62
3	300,96	125,98
2	205,64	86,08
1	66,29	27,75
	1.218,76	365,63

8. Eksentrisitas Pusat Massa Terhadap Pusat Rotasi

Untuk  $0 < e < 0,3 b$  :

$$Ed = 1,5 e + 0,05 b \text{ atau } ed = e - 0.005b$$

Untuk  $e > 0,3 b$  :

$$Ed = 1,33 e + 0,1 \text{ atau } ed = 1,17 e - 0,1 b$$

dimana :

b = ukuran horizontal terbesar pada lantai gedung yang ditinjau

e = selisih antara pusat massa dan pusat kekakuan pada lantai yang ditinjau.

Tabel. 7. Eksentrisitas arah X

Lantai	XCM	XCR	$e_d$	x-kr
Atap	43,500	43,501	4,352	39,149
4	43,500	43,501	4,352	39,149
3	43,500	43,501	4,352	39,149
2	43,511	43,501	4,365	39,146
1	43,508	43,501	4,361	39,148

Tabel. 8. Eksentrisitas arah Y

Lantai	YCM	YCR	$e_d$	y-kr
Atap	32,518	31,070	4,573	27,945
4	30,689	31,087	3,722	26,967
3	30,465	31,090	4,063	26,403
2	30,642	31,094	3,803	26,839
1	30,682	31,446	4,271	26,411

9. Analisa waktu getar struktur dengan cara  $T_{Rayleigh}$

$$T_{Rayleigh} = 6,3 \sqrt{\frac{216.849,66}{981 \times 4.743,703}} = 1,360$$

Maka yang diambil adalah  $T_{Rayleigh} = 1,360$  yang menghasilkan  $C = 0,23 / 1,360 = 0,169$  sehingga perhitungan diatas diulang.

$$\begin{aligned} V_{total} &= V_x = V_y = (C.I.Wt)/R \\ &= (0,169 \times 1 \times 17.215.631) / 3,5 \\ &= 831,91 \text{ ton} \end{aligned}$$

10. Kinerja batas layan  $\Delta s$

Tabel. 9. Simpangan struktur arah X

Tingkat	Hi (m)	$\Delta s$ (cm)	Syarat	Keterangan
Atap	3,85	0,370	3,000	memenuhi
4	3,85	0,670	3,000	memenuhi
3	3,85	0,990	3,000	memenuhi
2	4,20	1,310	3,000	memenuhi
1	3,25	0,000	2,786	memenuhi

Tabel. 10. Simpangan struktur arah Y

Tingkat	Hi (m)	$\Delta s$ (cm)	Syarat	Keterangan
Atap	3,85	0,380	3,000	memenuhi
4	3,85	0,720	3,000	memenuhi
3	3,85	1,070	3,000	memenuhi
2	4,20	1,430	3,000	memenuhi
1	3,25	0,000	2,786	memenuhi

11. Evaluasi gempa

$T_y = 1,041$  dtk syarat bangunan  $T_{max}$  adalah 0,928 dtk, jadi dipakai  $T_{1max}$  dari tabel kurva spektrum gempa wilayah 2 tanah sedang maka

$$C_1 = 0,23 / 0,928 = 0,248$$

$$\begin{aligned} V_y &= (C \times I \times Wt) / R \\ &= (0,248 \times 1 \times (17.047,04 + 0,3 \times 4.982,10)) / 3,5 \\ &= 1.312,63 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$0,8 (V_x) = 1.050,11 \text{ ton}$$

$$V_{rsp y} = 280,67 \text{ ton}$$

$$FS = \frac{0,8 V_y}{V_{rsp y}} = \frac{1.050,11}{280,67} = 3,74$$

Tabel. 11. Simpangan struktur arah X

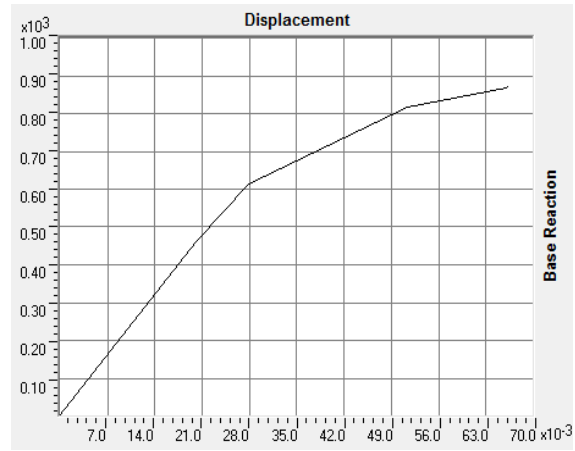
Tingkat	Gaya Lateral	Jumlah Node	Gaya (ton)
Atap	536,1439	132	4,062
4	563,1257	186	3,028
3	421,1921	186	2,264
2	277,9342	186	1,494
1	250,39	186	1,346

12. Hasil Analisa Pushover

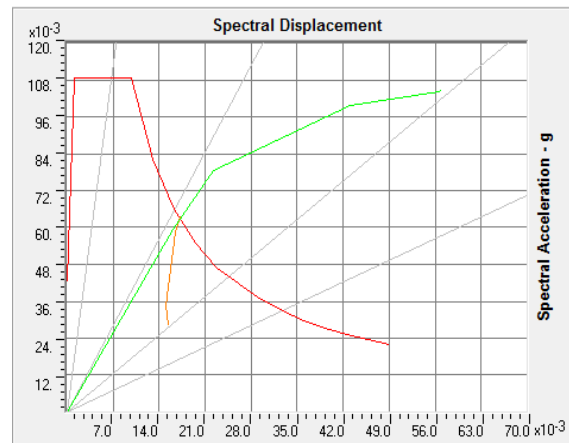
Kurva *pushover* dari hasil analisa seperti pada Gambar. 13. berhenti pada langkah (*step*) 5, yaitu pada saat simpangan pada titik kontrol tercatat sebesar 0,0664 m (6,64 cm) dan gaya geser dasar sebesar 870,0227 ton. Berdasarkan Gambar. 14. Berikut ini diperoleh bahwa *performance point* berdasarkan ATC-40 pada arah pembebanan sumbu utama Y (sumbu lemah) tercapai pada saat reaksi dasar V sebesar 484,97 ton dan dengan simpangan sebesar 0,021 m (2,1 cm). *Performance point* tercapai pada step 3 dimana 103 elemen telah melewati batas IO (*Immediate Occupancy*), namun belum ada elemen yang telah melewati batas LS (*Life Safety*), dan CP (*Collapse Prevention*). Level kinerja struktur (*Structure performance levels*) dapat ditentukan melalui kriteria rasio simpangan struktur (*structural-drift ratio*) yang diperoleh saat titik kinerja tercapai. Hasil perhitungan tersebut kemudian dibandingkan dengan persyaratan simpangan (*drift*) yang terdapat di dalam FEMA 356 (2000) [7] pada Tabel. 2 untuk menentukan level kinerja struktur tersebut.

Rasio simpangan struktur adalah perbandingan antara simpangan titik kontrol dengan elevasi titik kontrol tersebut. Dari hasil analisa pushover diperoleh bahwa simpangan titik kontrol saat tercapai *performance point* sebesar 0,021 m sedangkan elevasinya adalah 19 m, sehingga rasio simpangan struktur dapat dihitung sebagai berikut :

$$DR = \left( \frac{0,021}{19} \right) \times 100\% = 0,11\%$$



Gambar. 11. Kurva hubungan *base shear - displacement*



Gambar. 12. Titik kinerja struktur (*performance point*)

Berdasarkan nilai rasio simpangan struktur diatas dapat disimpulkan bahwa level kinerja struktur adalah *Immediate Occupancy (IO)*. Hal ini karena rasio simpangan struktur yang terjadi masih lebih kecil dari nilai yang disyaratkan oleh FEMA 356 yaitu 1%. Level kinerja yang disyaratkan untuk bangunan permukiman, perkantoran dan perniagaan adalah *Life Safety*. Sehingga level kinerja bangunan Pasar Butung pasca kebakaran apabila menerima beban gempa rencana memenuhi persyaratan yaitu masih dalam batas *Life Safety*. Hal ini berarti bangunan struktur pasar butung dapat

mempertahankan stabilitasnya saat menerima beban gempa rencana.

#### Metode Perbaikan Struktur Pasca Kebakaran

1. Pelat yang rusak parah (retak > 10 mm) dibongkar lalu dicor ulang dengan mempertahankan tulangan yang ada.
2. Pelat yang retak < 10 mm dapat di-*grouting*.
3. Elemen kolom dan balok yang mengalami retak rambut dan terkelupas lapisan plesterannya diperbaiki dengan melakukan finishing berupa plesteran ulang.
4. Untuk elemen nonstruktural seperti dinding partisi, plafon dan finishing ME harus dibongkar dan dibuat ulang.

#### iv. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisa beban dorong statik equivalen nonlinear (Static Nonlinear Pushover Analysis) diperoleh bahwa performance point tercapai pada saat reaksi dasar V sebesar 484,97 ton dengan simpangan sebesar 0,021 m (2,1 cm). Performance point ini tercapai pada step 3.
2. Berdasarkan hasil analisa beban dorong statik nonlinear (Static Nonlinear Pushover Analysis) diperoleh bahwa kinerja struktur Pasar Butung pasca kebakaran masih dalam batasan Life Safety (LS).

3. Perbaikan struktur pasar Butung pasca kebakaran hanya berupa perbaikan minor pada balok dan kolom, sedangkan untuk pelat dengan retak > 10 mm dibongkar lalu dicor ulang.

#### Ucapan Terima Kasih

Dari pihak penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada PD Pasar Sentral yang telah memberikan kami kesempatan untuk melakukan pengambilan data lapangan sehingga penelitian ini dapat kami rampungkan. Kepada teman-teman mahasiswa S2 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin yang tak henti-hentinya membantu kami sehingga tulisan ini dapat dirampungkan.

#### Daftar Pustaka

- [1] Wei, M.L, Microstructure of Fire-Damaged Concrete, Aci Materials Journal Volume 3, No 3, Detroi, 1996.
- [2] Malhotra H. L., Design of Fire Resisting Structure, Surrey University Press, New York, 1982.
- [3] Irma, Kapastas Sisa Balok Pasca Bakar, Thesis Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2000.
- [4] Ingham J, Forensic Engineering of Fire-Damaged Structure, Proceedings of ICE, London, 2009.
- [5] ACI Committee 318, Building Code Requirements For Structural Concrete (ACI 318-2005) and Commentary (ACI 318R – 2005). American Concrete Institute, Detroi, 2005.
- [6] ATC-40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council. Redwood City: California, 1996.
- [7] FEMA 356, Seismic Rehabilitation Prestandard, American Society of Civil Engineers for the Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.