

## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Penelitian

Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh data primer berupa kuat desak silinder beton, kuat tarik baja tulangan, beban dan lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang dan balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar. Data tersebut dianalisa untuk memperoleh grafik hubungan beban-lendutan dan momen-kelengkungan.

##### 5.1.1 Hasil uji kuat desak beton

Kekuatan desak beton rencana tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat serta kualitas perawatannya. Kuat desak beton diketahui dari uji desak 18 silinder beton ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengujian dilakukan setelah silinder beton berumur 28 hari. Kuat desak beton yang disyaratkan pada umur 28 hari adalah 20 Mpa. Dari hasil uji desak silinder beton diperoleh kuat desak 23 Mpa, sehingga memenuhi kuat desak beton rencana yang disyaratkan.

Uji kuat desak 18 buah silinder beton bertujuan mengetahui kuat desak beton pada model, hasil uji desak silinder beton disajikan pada lampiran 2, sedangkan rangkuman hasil uji kuat desak sebagai berikut :

$$\text{Kuat desak rata-rata } (f'_{cr}) = 29,8354 \text{ Mpa}$$

$$\text{Standar deviasi } (s) = 4 \text{ Mpa}$$

Jika penyimpangan maksimum 5%, kuat desak karakteristik silinder beton dihitung dengan persamaan :

$$f'_c = f'_{cr} - 1,64.s \dots\dots\dots(5.1)$$

diperoleh  $f'_c = 29,8354 - 1,64.(4) = 23,2754$  Mpa

Berdasarkan hasil uji ini, kuat desak beton pada model adalah 23 Mpa.

### 5.1.2 Hasil uji kuat tarik baja tulangan

Untuk mengetahui kualitas baja tulangan yang terpasang dalam model balok beton bertulang, dilakukan uji tarik baja tulangan, hasilnya ditunjukkan pada lampiran 2, rangkuman hasil uji kuat leleh dan kuat tarik baja tulangan ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Uji Tarik Baja Tulangan

diameter (mm)	kuat leleh (Mpa)	kuat tarik (Mpa)
8	297,927	431,320
10	276,119	458,998
12	319,399	450,267

### 5.1.3 Hasil pembakaran balok uji beton bertulang

Untuk memperoleh kerusakan balok uji beton bertulang yang diakibatkan oleh kebakaran, dilakukan pembakaran terhadap balok uji beton bertulang. Pembakaran dilakukan dengan suhu 600°C dan dibakar selama 3 jam. Setelah pembakaran, balok uji beton bertulang disiram dengan air agar mendekati keadaan sesungguhnya di lapangan. Kemudian dilakukan pengamatan visual untuk mengetahui perubahan fisik yang ditandai dengan adanya perubahan warna dan retak-retak yang terjadi pada balok uji beton bertulang, hasil pengamatan visual disajikan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Pengamatan Visual Balok Beton Bertulang Pasca Bakar

Kode	Suhu	Waktu	Hasil Pengamatan
Balok IV Balok V Balok VI	600°C	3 jam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Warna beton sebagian kemerah-merahan</li> <li>• Banyak timbul retak-retak rambut</li> </ul>
Balok VII Balok VIII Balok IX	600°C	3 jam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Warna putih kekuning-kuningan pada <i>gypsum</i> tampak jelas</li> <li>• Retak-retak rambut yang terjadi lebih sedikit</li> </ul>

#### 5.1.4 Hasil uji lentur balok beton bertulang

##### 5.1.4.1 Hubungan beban dan lendutan

Setelah dilakukan pembakaran terhadap balok uji beton bertulang, selanjutnya dilaksanakan uji kuat lentur terhadap balok uji beton bertulang. Pelaksanaan uji kuat lentur dilakukan di Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Pada pengujian kuat lentur ini, setiap balok beton bertulang diberikan pembebanan pada dua titik. Secara bertahap balok beton bertulang diberi beban dengan kenaikan sebesar 200 kg (0,2 ton), kemudian pada setiap tahap pembebanan, lendutan yang terjadi dicatat dan hasilnya disajikan pada Tabel 5.3.

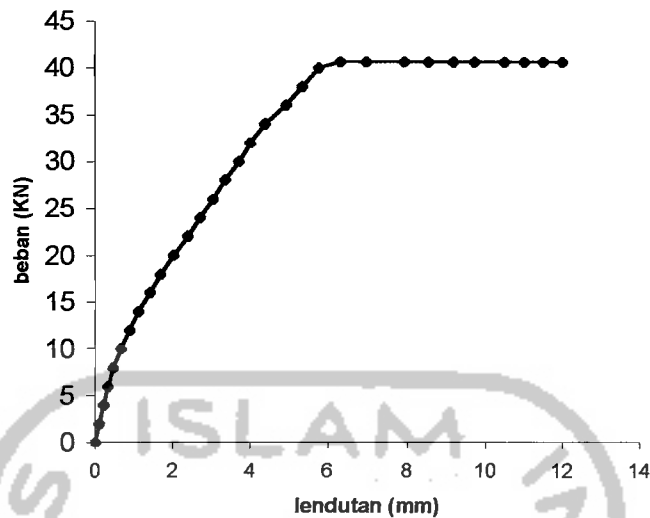
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Pada Suhu Ruang

Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
1	2	3	4
0	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0817	0.1107	0.0817
4	0.1873	0.2193	0.1873

Lanjutan Tabel 5.3.

1	2	3	4
6	0.2930	0.3353	0.2930
8	0.4127	0.4827	0.4127
10	0.5873	0.6840	0.5873
12	0.7993	0.9273	0.7993
14	1.0130	1.2117	1.0130
16	1.2507	1.4817	1.2507
18	1.5417	1.8007	1.5417
20	1.7993	2.0797	1.7993
22	2.0950	2.3993	2.0950
24	2.3760	2.7017	2.3760
26	2.6807	3.0550	2.6807
28	2.9637	3.3530	2.9637
30	3.2563	3.7037	3.2563
32	3.4960	4.0150	3.4960
34	3.8047	4.3927	3.8047
36	4.1340	4.9160	4.1340
38	4.4597	5.3217	4.4597
40	4.8940	5.7717	4.8940
40.6667	5.2747	6.3140	5.2747
40.6667	5.7130	6.9650	5.7130
40.6667	6.3413	7.9260	6.3413
40.6667	6.8363	8.5450	6.8363
40.6667	7.3073	9.1727	7.3073
40.6667	7.8083	9.7117	7.8083
40.6667	8.2317	10.4937	8.2317
40.6667	8.6017	10.9963	8.6017
40.6667	9.0083	11.4893	9.0083
40.6667	9.3893	11.9883	9.3893

Grafik hubungan beban dan lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang ditunjukkan pada Gambar 5.1.

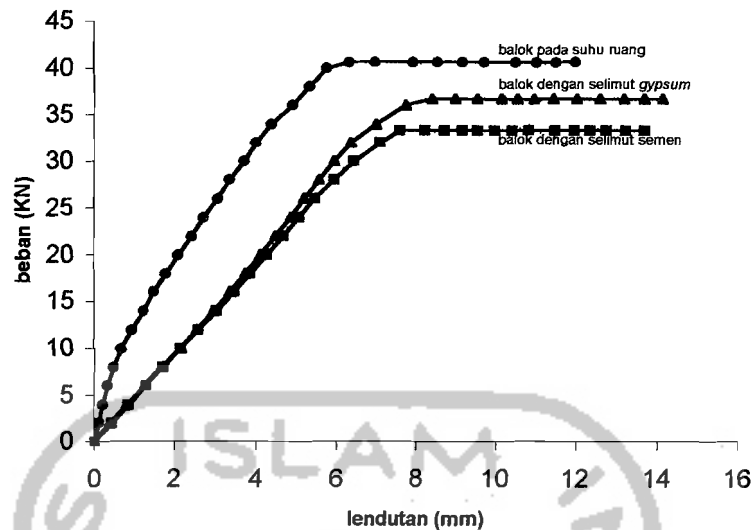


Gambar 5.1 Grafik beban dan lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang

Hubungan beban dan lendutan balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar pada suhu  $600^{\circ}\text{C}$  ditunjukkan pada lampiran 5. Dari data tersebut dibuat grafik hubungan momen dan kelengkungan.

#### 5.1.4.2 Grafik beban dan lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang, balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu $600^{\circ}\text{C}$

Grafik beban dan lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang, balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu  $600^{\circ}\text{C}$  ditunjukkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik hubungan beban dan lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang, balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu  $600^{\circ}\text{C}$

#### 5.1.4.3 Analisa data hubungan beban dan lendutan

Dari hasil pengamatan grafik hubungan beban dan lendutan pada Gambar 5.2 dapat disimpulkan dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Analisa Data

SAMPSEL	P(leleh) (KN)	P(leleh) (%)	Lendutan ( $\Delta$ ) (mm)	Kekakuan ( $\Phi$ )	Kekakuan (%)
Balok Pada Suhu Ruang	40,667	100,000	6,314	6,441	100,000
$600^{\circ}\text{C}$ Selimut Semen	33,333	81,966	8,202	4,064	63,096
$600^{\circ}\text{C}$ Selimut <i>Gypsum</i>	36,667	90,164	7,958	4,608	71,542

Dari data Tabel 5.4 dapat diteliti pengaruh suhu terhadap kuat lentur balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu  $600^{\circ}\text{C}$  dalam menahan beban, serta perilaku lendutan yang terjadi pada balok beton bertulang.

## 5.1.5 Hubungan momen dan kelengkungan

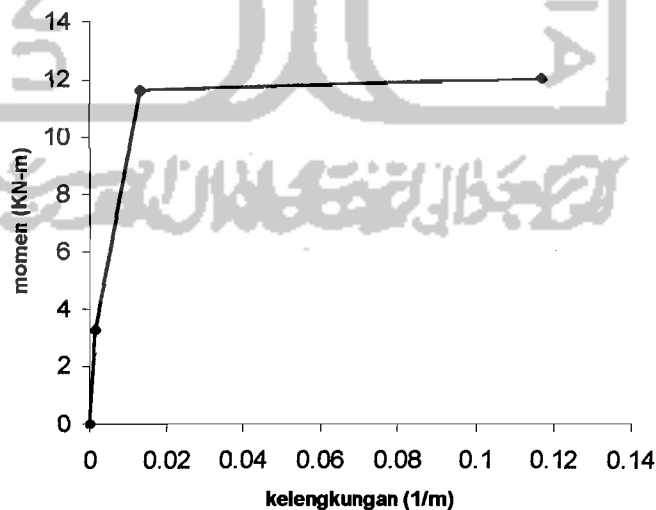
### 5.1.5.1 Momen dan kelengkungan teoritis

Mengacu pada tulisan Park dan Paulay (1975), nilai momen dan kelengkungan dapat dicari dengan perhitungan teoritis. Perhitungan momen dan kelengkungan teoritis disajikan pada lampiran 4, sedangkan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan kurva trilinearnya pada Gambar 5.3.

Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Momen dan Kelengkungan Teoritis

Keadaan	Momen (kNm)	Kelengkungan (1/m)
Retak ( $C_r$ )	3,2130	$1,46575E^{-3}$
Leleh ( $y$ )	11,6112	$12,9873E^{-3}$
Ultimit ( $u$ )	12,0246	$116,643E^{-3}$

Dari data perhitungan momen dan kelengkungan dapat digambarkan grafik trilinear seperti ditunjukkan pada Gambar 5.3 yang dijadikan sebagai pembanding dengan grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang.



Gambar 5.3 Grafik momen dan kelengkungan trilinear teoritis

### 5.1.5.2 Grafik momen-kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang

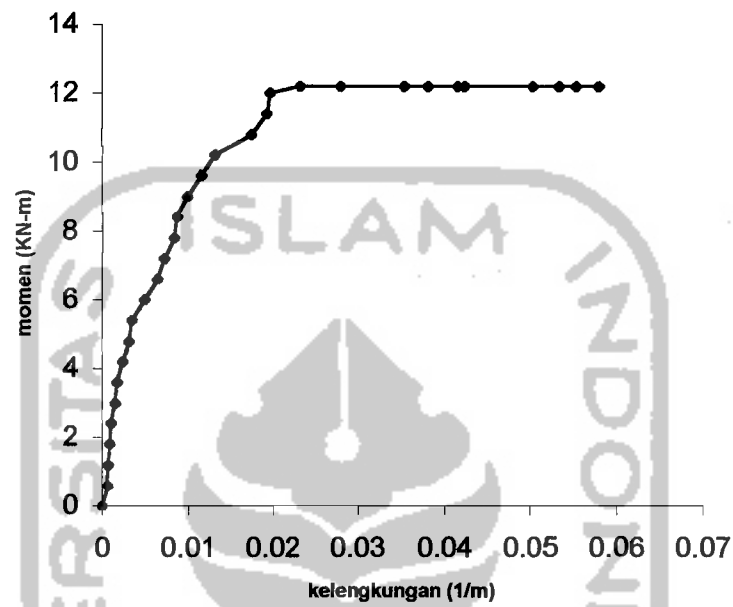
Dari hasil data penelitian didapat grafik P- $\Delta$ , sehingga dapat dicari momen dan kelengkungan untuk balok beton bertulang pada suhu ruang. Sedangkan grafik hubungan M- $\phi$  dapat digunakan untuk mencari faktor kekakuan.

Tabel 5.6 Hubungan Momen dan Kelengkungan Balok Beton Bertulang Pada Suhu Ruang

Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	Momen (kN-m)	Kelengkungan (1/m)
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0	0.00000
2	0.0817	0.1107	0.0817	0.6	0.00064
4	0.1873	0.2193	0.1873	1.2	0.00071
6	0.2930	0.3353	0.2930	1.8	0.00094
8	0.4127	0.4827	0.4127	2.4	0.00155
10	0.5873	0.6840	0.5873	3.0	0.00214
12	0.7993	0.9273	0.7993	3.6	0.00284
14	1.0130	1.2117	1.0130	4.2	0.00441
16	1.2507	1.4817	1.2507	4.8	0.00513
18	1.5417	1.8007	1.5417	5.4	0.00575
20	1.7993	2.0797	1.7993	6.0	0.00622
22	2.0950	2.3993	2.0950	6.6	0.00676
24	2.3760	2.7017	2.3760	7.2	0.00723
26	2.6807	3.0550	2.6807	7.8	0.00831
28	2.9637	3.3530	2.9637	8.4	0.00865
30	3.2563	3.7037	3.2563	9.0	0.00994
32	3.4960	4.0150	3.4960	9.6	0.01153
34	3.8047	4.3927	3.8047	10.2	0.01306
36	4.1340	4.9160	4.1340	10.8	0.01737
38	4.4597	5.3217	4.4597	11.4	0.01915
40	4.8940	5.7717	4.8940	12.0	0.01950
40.6667	5.2747	6.3140	5.2747	12.2	0.02309
40.6667	5.7130	6.9650	5.7130	12.2	0.02782
40.6667	6.3413	7.9260	6.3413	12.2	0.03521
40.6667	6.8363	8.5450	6.8363	12.2	0.03797
40.6667	7.3073	9.1727	7.3073	12.2	0.04145
40.6667	7.8083	9.7117	7.8083	12.2	0.04229
40.6667	8.2317	10.4937	8.2317	12.2	0.05026
40.6667	8.6017	10.9963	8.6017	12.2	0.05321
40.6667	9.0083	11.4893	9.0083	12.2	0.05513
40.6667	9.3893	11.9883	9.3893	12.2	0.05775



Berdasarkan Tabel 5.6 dapat digambarkan grafik hubungan momen dan kelengkungan, sedangkan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 5.4 yang merupakan Grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang.

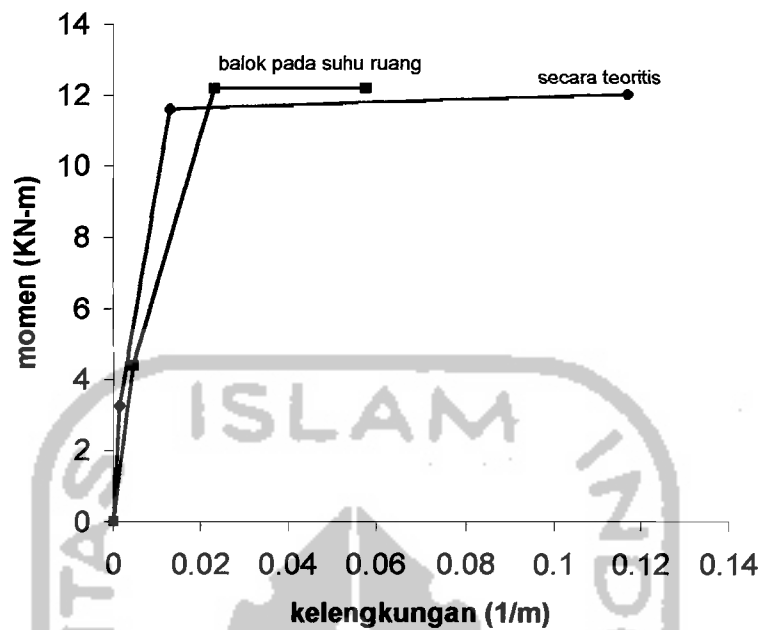


Gambar 5.4 Grafik momen-kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang

Hubungan momen dan kelengkungan balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu 600°C ditunjukkan pada lampiran 5.

### 5.1.5.3 Grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang dengan momen dan kelengkungan secara teoritis

Grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang dengan momen dan kelengkungan secara teoritis ditunjukkan pada Gambar 5.5.

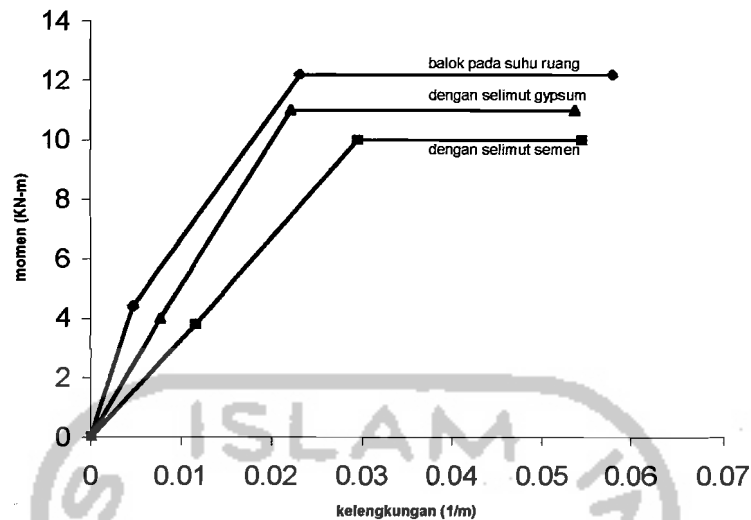


Gambar 5.5 Grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang dan secara teoritis

#### 5.1.5.4 Grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang, balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu 600°C

Grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang, balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu 600°C ditunjukkan pada Gambar 5.6.





Gambar 5.6 Grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang, balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu  $600^{\circ}\text{C}$

## 5.2 Pembahasan

### 5.2.1 Pengaruh waktu terhadap kuat tekan beton

Pelaksanaan penelitian dan pembakaran sampel balok beton bertulang dilakukan setelah semua sampel balok beton bertulang mencapai umur 28 hari atau lebih. Hal ini dikarenakan semakin bertambah umur beton, maka kuat tekan akan bertambah pula, akan tetapi setelah umur 28 hari kenaikan kuat tekan beton tidak terlalu besar.

Pada balok beton bertulang dengan selimut *gypsum* pasca bakar, pembakaran dilakukan setelah umur 28 hari. Sebelum dilakukan pembakaran, balok beton bertulang terlebih dahulu diselimuti *gypsum*, hal ini telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Selanjutnya setelah pembakaran, dapat dilakukan pengujian kuat lentur balok beton bertulang.

### 5.2.2 Kuat lentur sisa ditinjau dari hubungan beban dan lendutan

Dari penelitian didapat hubungan beban ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ ). Nilai kekakuan didapat dari  $P/\Delta$ , kekakuan pada balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu  $600^{\circ}\text{C}$  secara umum mempunyai perilaku kekakuan yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik beban-lendutan yang diperoleh dari data percobaan di laboratorium. Pola grafik beban-lendutan tersebut sesuai dengan teori yang diharapkan.

Pada perbandingan grafik beban-lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang dengan grafik beban-lendutan balok beton bertulang selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu  $600^{\circ}\text{C}$ , grafik beban-lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang dianggap mempunyai kuat lentur dan kelengkungan 100%. Sedangkan grafik beban-lendutan balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu  $600^{\circ}\text{C}$  dibandingkan dengan grafik beban-lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang dapat diketahui besarnya kuat lentur dan nilai kekakuan dalam persen (%). Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh angka kenaikan atau penurunan kuat lentur dan nilai kekakuan dari balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu  $600^{\circ}\text{C}$ .

Balok uji beton bertulang dengan selimut semen pasca bakar pada suhu  $600^{\circ}\text{C}$  selama 3 jam mengalami penurunan kuat lentur sebesar 18,034% atau mempunyai kuat lentur sebesar 81,966%. Dan mengalami penurunan kekakuan 36,904% dari kekakuan balok beton bertulang pada suhu ruang.

Balok beton bertulang dengan selimut *gypsum* pasca bakar pada suhu 600°C selama 3 jam mengalami penurunan kuat lentur sebesar 9,836% atau memiliki kuat lentur sebesar 90,164% dari kuat lentur balok beton bertulang pada suhu ruang dan kekakuan mengalami penurunan sebesar 28,458% atau memiliki kekakuan sebesar 71,542% dari kekakuan balok beton bertulang pada suhu ruang.

Hal tersebut membuktikan bahwa balok beton bertulang akan mengalami penurunan kuat lentur apabila terbakar, tetapi dengan adanya lapisan selimut *gypsum* pada balok beton bertulang yang terbakar, maka besarnya penurunan kuat lentur yang terjadi dapat dikurangi, bahkan bisa mendekati kuat lentur balok beton bertulang pada suhu ruang.

### **5.2.3 Degradasi momen dan faktor kekakuan ditinjau dari grafik momen dan kelengkungan**

Hubungan momen ( $M$ ) dan kelengkungan ( $\phi$ ) menunjukkan faktor kekakuan. Dalam hal ini didapat dari  $M/\phi$ , faktor kekakuan pada balok beton bertulang pasca bakar secara umum mempunyai perilaku yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik momen dan kelengkungan yang diperoleh dari data percobaan di laboratorium.

Pada perbandingan grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang dengan grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pasca bakar, pada grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang dianggap mempunyai faktor kekakuan 100%. Sedangkan grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pasca bakar dibandingkan dengan grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang

dapat diketahui besarnya faktor kekakuan dalam (%) seperti disajikan dalam Tabel 5.7

Tabel 5.7 Hasil Analisa

SAMPEL	M (kN-m)	$\phi$ ( $m^{-1}$ )	EI (kN-m <sup>2</sup> )	M (%)	EI (%)
Balok Pada Suhu Ruang	12,200	0,023096	528,2299	100,00	100,00
600°C Selimut Semen	10,000	0,029467	339,3627	81,967	64,245
600°C Selimut <i>Gypsum</i>	11,000	0,022074	498,3238	90,164	94,338

Dari Tabel 5.7 dapat dilihat terjadinya penurunan momen dan faktor kekakuan yang terjadi sebesar :

Balok beton bertulang dengan selimut semen pasca bakar suhu 600°C, balok uji mengalami penurunan momen sebesar 18,033% dan penurunan kekakuan sebesar 35,755% terhadap balok beton bertulang pada suhu ruang. Balok beton bertulang dengan selimut *gypsum* pasca bakar suhu 600°C, balok uji mengalami penurunan momen sebesar 9,836% dan mengalami penurunan kekakuan sebesar 5,662% terhadap balok beton bertulang pada suhu ruang. Penurunan kuat lentur akibat kebakaran ini disebabkan karena menurunnya mutu beton ( $f'_c$ ) dan bertambahnya tinggi blok tegangan ( $a$ ). Dengan bertambahnya tinggi blok tegangan ( $a$ ) ini, maka lengan momen menjadi berkurang sehingga momen nominal yang dihasilkan mengalami penurunan. Hal ini sesuai yang dikemukakan oleh Neville (1975) bahwa, beton menunjukkan kenaikan kuat desak pada temperatur 200<sup>0</sup>-300<sup>0</sup>C, tetapi diatas 400<sup>0</sup>C kuat desak hanya mencapai 90% dari kuat desak normal dan maksimum 40% pada suhu 700<sup>0</sup>C.