

## BAB IV

### PELAKSANAAN PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Material Pembentuk Balok Beton

##### 4.1.1. Semen

Sebagai bahan perekat adukan beton (*binder*), digunakan semen portland type I merk Semen Gresik kemasan 50 kg. Penilaian kualitas semen hanya dilakukan dengan pengamatan secara visual terhadap keutuhan kemasan dan kehalusan butir.

##### 4.1.2. Air.

Air diambil dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

##### 4.1.3. Agregat

Ada dua macam agregat yang digunakan, yaitu:

###### 1. Agregat halus

Agregat halus adalah pasir yang diambil dari Kali Krasak, Sleman Yogyakarta yang berdiameter lolos saringan 4,80 mm. Pengujian pasir bertujuan untuk memperoleh distribusi ukuran butir (*gradasi*) dan berat volume dalam keadaan jenuh kering muka (*SSD*). Sebelum digunakan, pasir dicuci untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang terkandung di dalamnya.

## 2. Agregrat kasar

Agregrat kasar yaitu batuan pecah, didatangkan dari daerah Celereng, Kulon Progo, Yogyakarta. Memperhatikan ukuran penampang model, dipilih batu pecah dengan ukuran butir maksimum 20 mm. Penyelidikan batu pecah bertujuan memperoleh data tentang berat jenis dan berat volume dalam keadaan SSD. Sebelum digunakan, batu pecah dicuci dan fraksi batu-batu pecah dipisahkan menjadi tiga bagian yaitu lebih kecil dari  $\phi$  9 mm,  $\phi$  9 mm  $\frac{3}{4}$   $\phi$  12 mm,  $\phi$  12 mm  $\frac{3}{4}$   $\phi$  20 mm.

### 4.1.4. Baja tulangan

Digunakan baja tulangan  $\phi$  12 mm sebagai tulangan baja tarik memanjang,  $\phi$  8 mm sebagai tulangan baja tekan memanjang dan  $\phi$  6 mm sebagai tulangan sengkang.

### 4.1.5. Fiber kawat bendrat

Digunakan fiber kawat bendrat  $\phi$  1 mm dan panjang 50 mm sebanyak 3% dari berat adukan.

## 4.2. Peralatan Pengujian

Untuk penelitian ini digunakan beberapa peralatan sebagai sarana dalam mencapai maksud dan tujuan penelitian yaitu:

### 4.2.1. Timbangan

Timbangan merk Fa Gani dengan kapasitas 500 kg, digunakan untuk menimbang bahan susun campuran adukan beton (pasir, semen, kerikil). Timbangan halus merk O'house kapasitas 20 kg dan 5 kg digunakan untuk menimbang serat

kawat bendrat, batu pecah dan pasir ketika melakukan uji berat jenis, berat volume, agregat batu pecah dan modulus halus butir pasir.

#### **4.2.2. Ayakan**

Digunakan untuk mengetahui gradasi pasir dan batu pecah (*split*).

#### **4.2.3. Mistar dan kaliper**

Mistar dari logam digunakan untuk mengukur dimensi cetakan model, sedangkan kaliper untuk mengukur diameter tulangan dan benda uji.

#### **4.2.4. Mesin uji kuat tarik**

Digunakan untuk mengetahui kuat tarik dan kuat leleh baja tulangan. Pada penelitian ini digunakan UNIVERSAL TESTING MATERIAL (UTM) merk SHIMATSU type UMH 30, kapasitas 30 ton.

#### **4.2.5. Mesin uji kuat desak**

Mesin uji kuat desak digunakan untuk mengetahui kuat desak dan kuat tarik silinder beton, didalam penelitian ini digunakan mesin uji kuat desak merk CONTROL kapasitas 2000 KN.

#### **4.2.6. Mesin pengaduk beton**

Mesin pengaduk beton (*mixer*), digunakan untuk pengaduk bahan susun beton (semen, batu pecah, pasir, serat kawat bendrat dan air) sehingga diperoleh campuran adukan beton yang homogen.

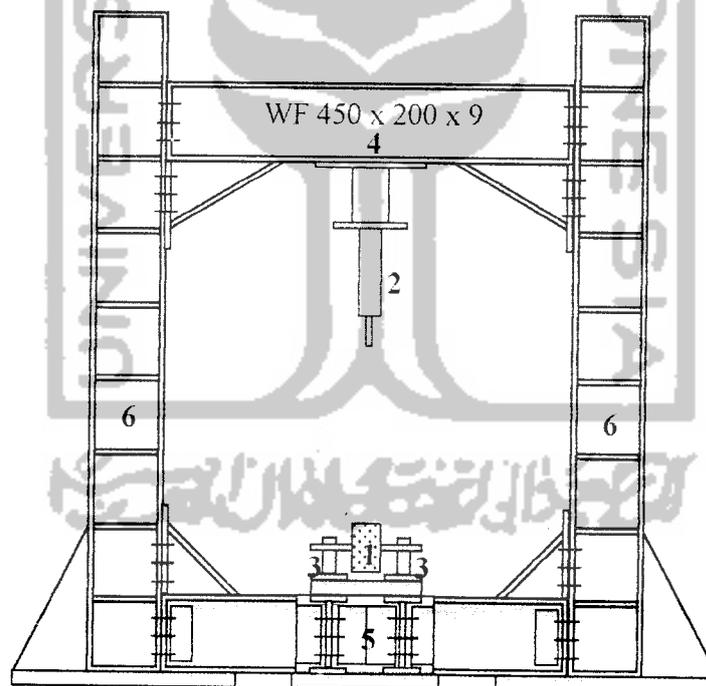
#### 4.2.7. Kerucut Abrams

Alat ini digunakan untuk mengukur tingkat kelecakan beton, tinggi 30 cm dengan diameter atas 10 cm dan diameter bawah 20 cm dilengkapi dengan alat penumbuk besi panjang 60 cm dengan diameter 16 mm

#### 4.2.8. Tungku pemanas

Dalam penelitian ini digunakan tungku pemanas yang mampu mencapai suhu sampai  $1000^{\circ}\text{C}$ , yang berada di Unit Pelayanan Teknis (UPT) Kasongan Bantul.

#### 4.2.9. "Loading Frame"



**Keterangan:**

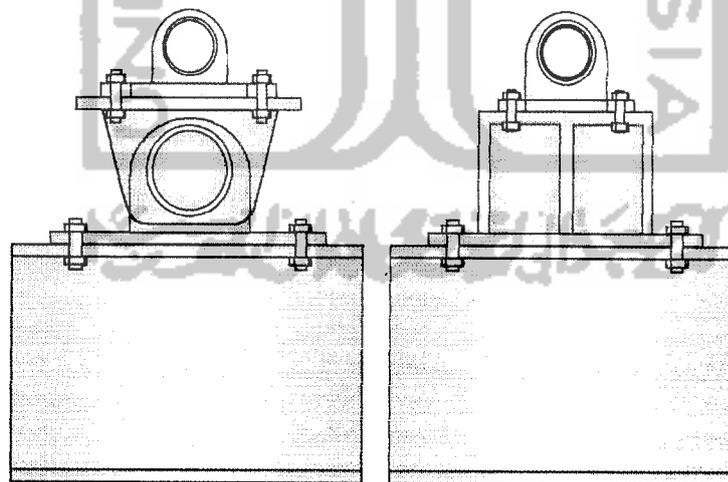
- |                   |                                  |
|-------------------|----------------------------------|
| 1. Model balok    | 4. Balok portal ( bisa digeser ) |
| 2. Hydraulic Jack | 5. Balok lintang                 |
| 3. Dukungan       | 6. Kolom                         |

Gambar 4.1. Bentuk fisik "Loading Frame"

Untuk keperluan penelitian ini dan penelitian-penelitian yang akan datang, dibuat Loading frame dari bahan baja profil WF 450x200x9x14. Bentuk dasar "Loading Frame" berupa portal segi empat yang berdiri diatas lantai beton ("rigid floor") dengan perantara pelat dasar dari besi setebal 14 mm. Agar "Loading Frame" tetap stabil, pelat dasar dibaut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450x200x9x14mm. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji dengan cara melepas sambungan baut. Bentuk fisik "Loading Frame" dapat dilihat pada Gambar 4.1.

#### 4.2.10. Dukungan rol dan sendi

Dukungan rol dipasang pada salah satu ujung model balok, sedangkan pada ujung yang lain dipasang dukungan sendi (engsel), sehingga model balok mendekati balok sederhana atau "simple beam" (lihat gambar 4.2.)



(a.) Dukungan Rol

(b.) Dukungan Sendi

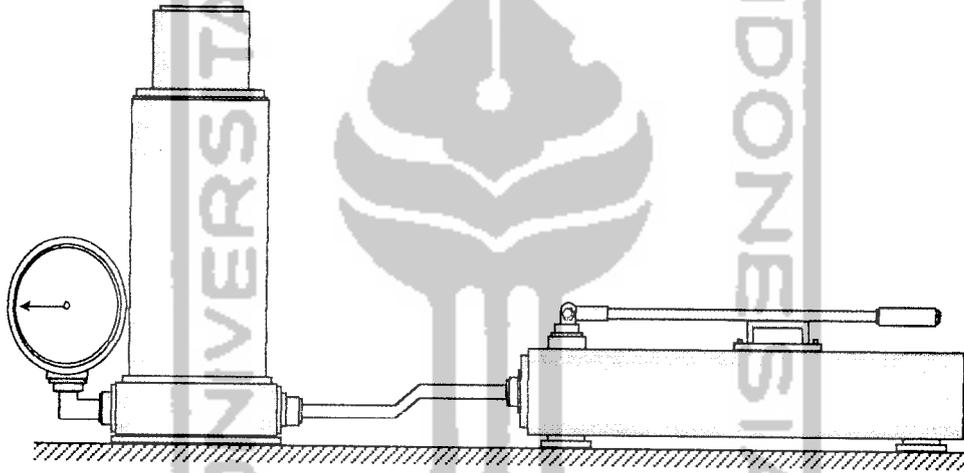
Gambar 4.2. Dukungan Sendi dan Rol

#### 4.2.11. "Thermokopel"

Alat ini berfungsi sebagai pengukur suhu sampai  $1500^{\circ}\text{C}$  pada tungku pemanas.

#### 4.2.12. "Hydraulic jack"

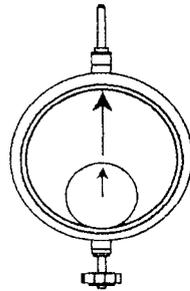
Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur balok skala penuh. Dengan kapasitas maksimum 30 ton dan ketelitian pembacaan sebesar 0,5 ton, (lihat Gambar 4.3).



Gambar 4.3. "Hidraulic Jack"

#### 4.2.13. "Dial Gauge"

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi, Untuk penelitian skala penuh digunakan dial gauge dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dengan tingkat ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai dial gauge dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dengan tingkat ketelitian 0,01mm. Dalam penelitian ini digunakan "Dial Gauge" sebanyak 3 buah, (lihat Gambar 4.4).



Gambar 4.4. "Dial Gauge"

### 4.3. Pelaksanaan Penelitian

#### 4.3.1. Persiapan

Pekerjaan persiapan meliputi: uji sifat-sifat teknis bahan susun beton (pasir, kerikil, dan semen), perancangan adukan beton, uji kuat desak silinder beton, uji kuat tarik baja tulangan, kalibrasi peralatan, "set-up instrument" pengujian dan uji pendahuluan.

##### a) Uji pasir

Hasil uji pasir didapat berat jenis SSD  $2,7 \text{ Ton/m}^3$  dan modulus kehalusan butir  $2,8 \text{ Ton/m}^3$ .

##### b) Uji batu pecah

Uji batu pecah bertujuan mendapatkan berat jenis dan berat volume batu pecah keadaan SSD. Didapat berat jenis SSD  $2,632 \text{ Ton/m}^3$  dan berat volume SSD  $1,489 \text{ Ton/m}^3$ .

##### c) Perencanaan campuran adukan beton

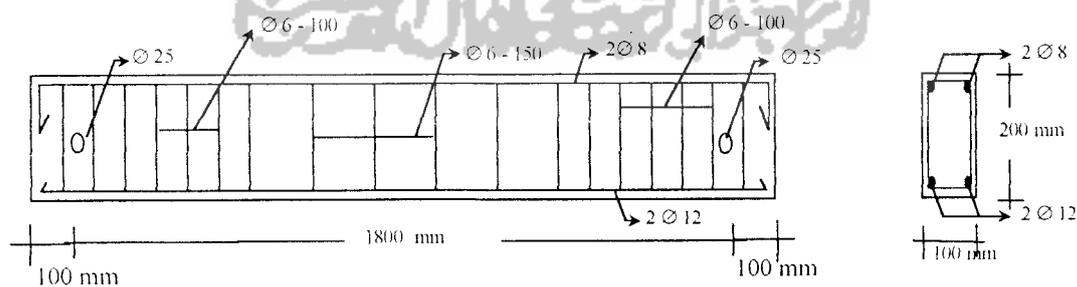
Perencanaan campuran adukan beton menggunakan cara yang direkomendasi oleh American Concrete Institute (ACI), hitungan disajikan dalam lampiran 1.

Untuk setiap satu meter kubik beton dengan kuat desak rencana 25 MPa diperlukan bahan penyusun yaitu semen 420,202 kg, pasir 780,300 kg, batu pecah 910 kg, air 208 liter, dan serat kawat bendrat 69,555 kg.

#### 4.3.2. Pembuatan dan perawatan model

Dalam penelitian ini, dibuat 14 buah balok beton serat kawat bendrat dengan ukuran (100mm x 200mm x 2000mm) lihat Gambar 4.5., yang terdiri dari:

1. Sampel (A) dengan serat 3 % dari adukan dibakar selama 2 jam pada suhu 500°C sebanyak 3 buah
2. Sampel (B) dengan serat 3 % dari adukan dibakar selama 3 jam pada suhu 500°C sebanyak 3 buah
3. Sampel (C) dengan serat 3 % dari adukan dibakar selama 2 jam pada suhu 600°C sebanyak 3 buah
4. Sampel (D) dengan serat 3 % dari adukan dibakar selama 3 jam pada suhu 600°C sebanyak 3 buah
5. Sampel (E) dengan serat 3 % dari adukan tanpa pembakaran sebanyak 2 buah.



Gambar 4.5. Model balok uji

Selain pembuatan balok beton serat, dibuat juga dalam bentuk silinder sebanyak 20 buah dengan tujuan untuk mengetahui kuat desak dan kuat tarik beton serat. Untuk uji kuat desak beton digunakan 15 buah sampel silinder dan 5 buah sampel silinder untuk uji kuat tarik beton serat.

Perawatan terhadap balok uji dilaksanakan dengan menyelimuti balok dengan karung basah yang disiram setiap hari. Dengan cara ini diharapkan hidrasi semen berlangsung dengan baik. Sedangkan untuk silinder dilakukan dengan cara merendam di dalam bak yang telah tersedia di Lab. BKT FTSP UII. Perawatan terhadap sampel tersebut dilakukan selama 28 hari.

#### **4.3.3. Pelaksanaan pembakaran benda uji**

Pembakaran dilakukan di UPT Kasongan Bantul dengan variasi suhu 500°C dan 600°C selama 2 jam dan 3 jam setelah benda uji melewati masa perawatan selama 28 hari. Cara pembakaran balok beton serat ini yaitu sebelum benda uji dibakar, terlebih dahulu benda uji dimasukkan kedalam tungku pembakaran. Setelah benda uji tertata rapi di dalam tungku pembakaran, mulailah dilakukan pembakaran dari suhu ruangan hingga mencapai variasi suhu yang diinginkan yaitu suhu 500°C dan 600°C. Sedangkan waktu yang dibutuhkan selama pembakaran yaitu 2 jam dan 3 jam dengan cara: waktu pembakaran mulai dihitung sejak awal pembakaran hingga mencapai waktu dan suhu yang diinginkan, kemudian ditahan selama  $\pm 15$  menit, setelah itu api dipadamkan kemudian benda uji dikeluarkan dari tungku pembakaran. Setelah benda uji dikeluarkan dari tungku pembakaran, benda uji didinginkan dengan cara

menyiram air. Hal ini dilakukan agar dapat mendekati perilaku dilapangan ketika terjadi kebakaran pada sebuah gedung.

#### **4.3.4. Pelaksanaan pengujian**

Pengujian balok dilaksanakan setelah dilakukan pembakaran benda uji beton serat kawat bendrat. Pengujian dilakukan di Lab. Struktur FTSP UII dan di Lab. BKT FTSP UII. Pengujian ini meliputi:

1. Menguji kuat tarik baja tulangan yang dipakai untuk balok beton bertulang dengan tujuan mengetahui kuat tarik dan kuat leleh baja tulangan
2. Menguji kuat desak dan kuat tarik benda uji beton serat silinder
3. Menguji kuat lentur balok beton serat kawat bendrat untuk mengetahui beban dan lendutan.

#### **4.4. Hasil Penelitian dan Pembahasan**

##### **4.4.1. Hasil uji kuat desak dan kuat tarik beton**

Kuat desak beton rencana tergantung dari jenis campuran, sifat-sifat agregat dan kualitas perawatannya. Hasil kuat desak beton didapat dari uji desak 15 buah silinder beton ukuran diameter 15 cm, tinggi 30 cm. Kuat desak beton yang disyaratkan pada umur 28 hari adalah 25 MPa. Dari hasil uji desak beton didapat kuat desak beton 27,217 Mpa, sehingga memenuhi kuat desak beton rencana yang disyaratkan. Hasil uji kuat desak beton dapat dilihat pada lampiran 4.

Hasil uji kuat tarik beton didapat dari 5 buah silinder beton dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Uji kuat tarik beton dilakukan dengan cara uji

belah beton dan didapatkan kuat tarik beton sebesar 2,17 MPa. Hasil uji kuat tarik beton dapat dilihat pada lampiran 4.

Uji kuat desak beton sebanyak 15 buah silinder beton dan kuat tarik 5 buah silinder beton dapat dirangkum sebagai berikut :

$$\text{Kuat tekan rata-rata } (f'_{cf}) = 37,3 \text{ MPa}$$

$$\text{Standart deviasi } (s) = 5,3 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat tarik rata-rata } (f_{tf}) = 2,17 \text{ MPa}$$

Dengan 5% kemungkinan adanya kekuatan yang tidak memenuhi syarat kuat desak karakteristik maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$f'_c = f'_{cf} - 1,64 \cdot s$$

karena silinder beton yang digunakan untuk uji desak sebanyak 15 buah, maka standar deviasi dikalikan dengan faktor pengali standar deviasi sebesar 1,16 (Kardiyono, 1992). Sehingga persamaannya menjadi:

$$f'_c = f'_{cf} - 1,64 \cdot s \cdot 1,16$$

$$f'_c = 37,3 - 1,64 \cdot (5,3) \cdot 1,16$$

$$= 27,217 \text{ Mpa}$$

Berdasarkan hasil uji ini, kuat desak beton pada model adalah 27,217 MPa

#### 4.4.2. Hasil uji kuat tarik baja tulangan

Untuk mengetahui kualitas baja tulangan yang terpasang dalam model balok, dilakukan uji tarik baja tulangan, hasil uji tarik baja ditunjukkan pada lampiran 3, rangkuman hasil uji kuat tarik baja ditunjukkan pada Tabel 4.1:

Tabel 4.1. Hasil uji Tarik Baja

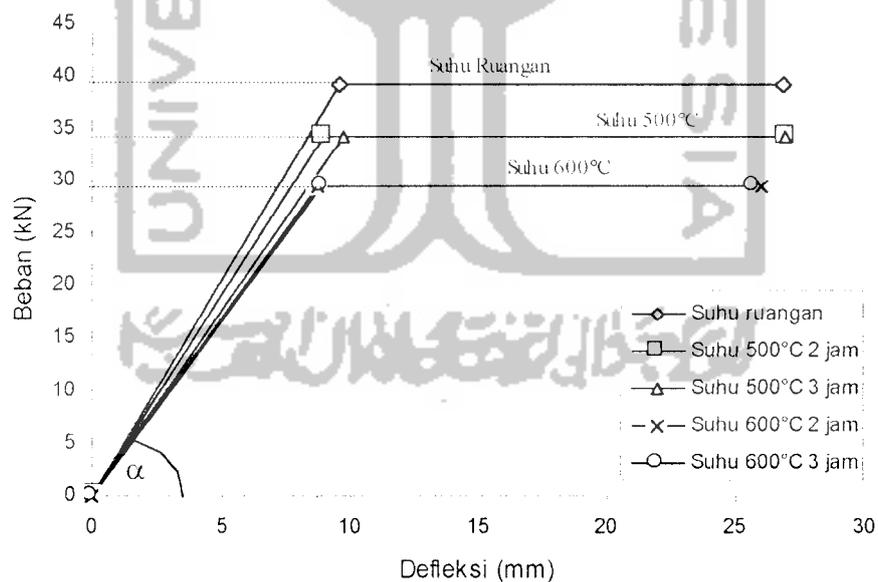
Diameter (mm)	Kuat Leleh (MPa)	Kuat tarik (Mpa)
6	300	420
8	251	352
12	264	382

#### 4.4.3. Kuat lentur balok

Hasil pengujian balok beton serat kawat bendrat pada penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

##### 1. Hubungan beban dan defleksi

Gambar 4.6. memperlihatkan diagram yang memberikan gambaran hubungan antara beban dan defleksi.



Gambar 4.6. Grafik bilinear beban defleksi

Dari gambar 4.6. hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.2.:

Tabel 4.2. Analisa data beban dan defleksi

Benda Uji	P (leleh) (kN)	Kuat Sisa (%)	Defleksi ( $\Delta$ ) (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Kekakuan (%)
Suhu ruangan	39,228	100,00	9,540	4,1119	100,00
500°C - 2 jam	34,325	87,50	8,943	3,8382	93,3437
500°C - 3 jam	34,325	87,50	9,750	3,5205	85,6173
600°C - 2 jam	29,420	75,00	8,710	3,3778	82,1469
600°C - 3 jam	29,420	75,00	8,870	3,3168	80,6634

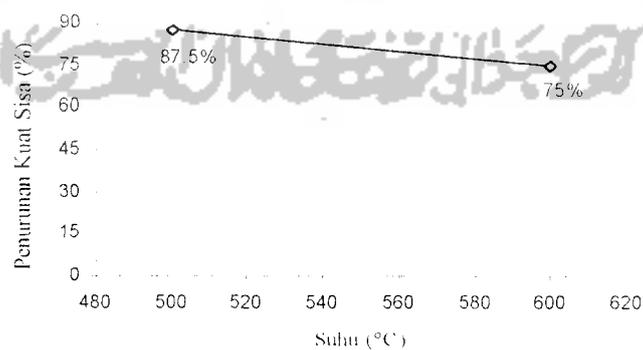
Dari data Tabel 4.2. dapat diamati dan diteliti pengaruh suhu dan waktu terhadap kuat lentur sisa balok dalam menahan beban, serta perilaku lendutan yang terjadi pada benda uji. Dari penelitian didapatkan hubungan beban (P) dan lendutan ( $\Delta$ ), dalam hal ini nilai kekakuan. Nilai kekakuan didapat dari  $tg \alpha = P/\Delta$ , kekakuan pada balok pasca bakar secara umum mempunyai perilaku kekakuan yang berbeda.

Pada perbandingan grafik lendutan balok suhu ruangan dengan grafik lendutan balok yang dibakar, grafik lendutan balok yang tidak dibakar dianggap mempunyai kuat lentur dan kelengkungan 100 %. Sedangkan grafik lendutan balok yang dibakar dibandingkan dengan grafik lendutan balok yang tidak dibakar dapat diketahui besarnya kuat sisa dan nilai kekakuan sisa dalam persen (%). Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh angka kenaikan atau penurunan kuat sisa dan nilai kekakuan dari balok yang dibakar, sebagai berikut:



- a) Pada pembakaran suhu  $500^{\circ}\text{C}$  dengan lama pembakaran 2 jam balok uji mengalami penurunan kuat sisa sebesar 12,5 % atau mempunyai kuat sisa sebesar 87,5 % dan sisa kekakuan 93,3437%.
- b) Pada pembakaran suhu  $500^{\circ}\text{C}$  dengan lama pembakaran 3 jam balok uji mengalami penurunan kuat sisa sebesar 12,5 % atau mempunyai kuat sisa sebesar 87,5 % dan sisa kekakuan 85,6173%.
- c) Pada pembakaran suhu  $600^{\circ}\text{C}$  dengan lama pembakaran 2 jam balok uji mengalami penurunan kuat sisa sebesar 25 % dengan kata lain balok uji mempunyai kuat sisa 75 %.dan sisa kekakuan 82,1469%.
- d) Pada pembakaran suhu  $600^{\circ}\text{C}$  dengan lama pembakaran 3 jam balok uji mengalami penurunan kuat sisa sebesar 25 % dengan kata lain balok uji mempunyai kuat sisa sebesar 75 % dan sisa kekakuan 80,6634%.

Grafik penurunan kuat sisa (%) dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Grafik penurunan kuat sisa balok

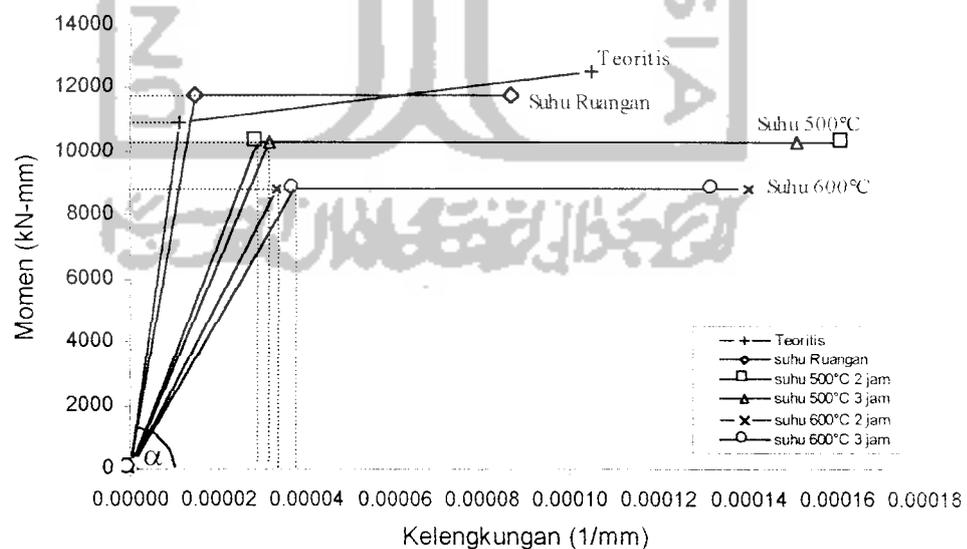
## 2. Hubungan momen dengan kelengkungan

Mengacu pada tulisan **Park and Pauley (1975)**, nilai momen dan kelengkungan dapat dicari. Perhitungan momen kelengkungan disajikan pada lampiran 2, sedang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.3. dan grafik bilinearnya pada Gambar 4.8.

Tabel 4.3. Hasil perhitungan momen-kelengkungan teoritis

$M_{cr}$ (kN-mm)	$\phi_{cr}$ (rad/mm)	$M_y$ (kN-mm)	$\phi_y$ (rad/mm)	$M_u$ (kN-mm)	$\phi_u$ (rad/mm)
1820,506	0,000000091	10920,125	0,0000111	12536,51	0,000105

Dari hasil perhitungan momen kelengkungan secara teoritis, maka dapat digambarkan gabungan grafik bilinear momen kelengkungan yang terdapat pada Gambar 4.8, dan Grafik hasil pengamatan dilapangan dapat dilihat pada lampiran 6.



Gambar 4.8. Grafik bilinear momen kelengkungan

Pada Gambar 4.8. terlihat grafik momen-kelengkungan teoritis lebih tinggi dari grafik hasil penelitian suhu ruangan, karena kuat tarik beton diperhitungkan dalam perhitungan secara teoritis.

Hubungan momen dan kelengkungan menunjukkan faktor kekakuan. Dalam hal ini didapat dari  $M/\phi$ , faktor kekakuan pada balok pasca bakar secara umum berbeda. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.8. grafik  $M/\phi$  yang diperoleh dari data percobaan di laboratorium.

Dengan membandingkan grafik momen kelengkungan balok suhu ruangan dengan grafik momen kelengkungan balok pasca bakar, dapat diketahui besarnya faktor kekakuan dalam (%) seperti disajikan dalam Tabel 4.4. Grafik momen-kelengkungan balok suhu ruangan dianggap mempunyai faktor kekakuan 100%. Sedang grafik momen-kelengkungan balok pasca bakar dibandingkan grafik momen-kelengkungan balok suhu ruangan.

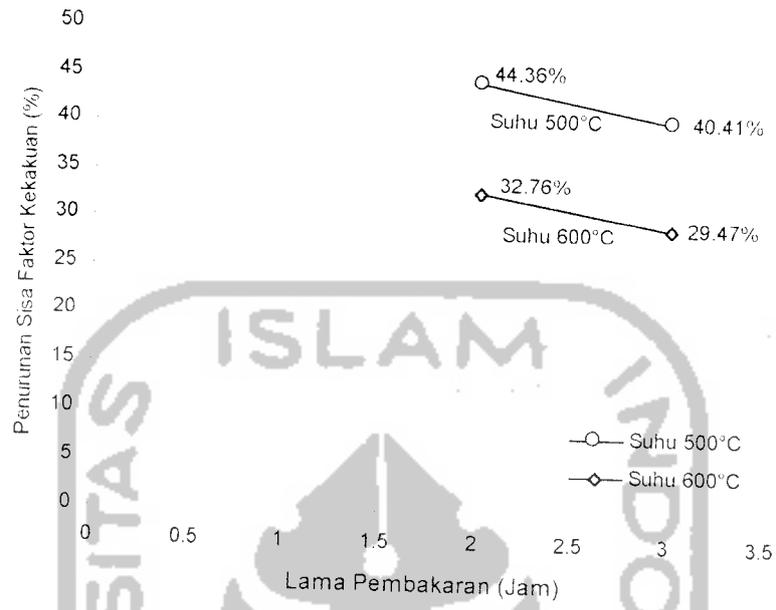
Tabel 4.4. Analisa data momen-kelengkungan dengan kekakuan

Benda Uji	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Faktor Kekakuan (EI) (kN-mm <sup>2</sup> )	Momen (%)	EI (%)
Teoritis	10920,125	0,0000111	983795045,00	92,79	121,21
Suhu ruangan	11768,400	0,0000145	811613793,10	100,00	100,00
500°C - 2 jam	10297,350	0,0000286	360047202,80	87,50	44,36
500°C - 3 jam	10297,350	0,0000314	327941082,80	87,50	40,41
600°C - 2 jam	8826,300	0,0000332	265852409,60	75,00	32,76
600°C - 3 jam	8826,3000	0,0000369	239195121,90	75,00	29,47

Dari Tabel 4.4. dapat dilihat terjadinya kenaikan momen dan faktor kekakuan untuk perhitungan secara teoritis dan penurunan momen dan faktor kekakuan untuk balok beton serat kawat bendrat pasca bakar jika dibandingkan dengan balok beton serat kawat bendrat suhu ruangan. Dari hasil analisa yang terdapat pada Tabel 4.4. dapat dijabarkan sebagai berikut:

- a. Untuk perhitungan secara teoritis terjadi penurunan momen 7,21 % dan kenaikan faktor kekakuan sebesar 21,21 %.
- b. Pada suhu 500°C lama pembakaran 2 jam terjadi penurunan momen sebesar 12,5 % dan sisa faktor kekakuan sebesar 44.36%.
- c. Pada suhu 500°C lama pembakaran 3 jam terjadi penurunan momen sebesar 12,5 % dan sisa faktor kekakuan sebesar 40.41 %.
- d. Pada suhu 600°C lama pembakaran 2 jam terjadi penurunan momen sebesar 25 % dan sisa faktor kekakuan sebesar 32.76 %.
- e. Pada suhu 600°C lama pembakaran 3 jam terjadi penurunan momen sebesar 25 % dan sisa faktor kekakuan sebesar 29.47 %.

Grafik Penurunan sisa faktor kekakuan dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Grafik Penurunan Sisa Faktor Kekakuan