

## BAB V

### PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan analisis terhadap hasil pengujian yang meliputi hasil pengujian pendahuluan dan hasil pengujian kolom tersusun bentukan dingin. Selanjutnya hasil uji akan dibahas yang meliputi pembahasan uji pendahuluan dan pembahasan kolom bentukan dingin.

#### 5.1 Hasil Pengujian

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian pendahuluan yang berguna untuk mengetahui kapasitas tekan profil *C* bentukan dingin sebagai elemen yang dipergunakan. Pengujian pendahuluan meliputi uji kuat tarik, uji kuat tekan dan uji sambungan las. Pengujian sampel kolom tersusun untuk mengetahui kapasitas tekan kolom tersusun dengan perangkat silang ganda. Hasil pengujian akan digunakan untuk mengetahui perilaku kolom tersusun dalam menerima beban aksial tekan sentris.

##### 5.1.1 Hasil uji pendahuluan

Hasil uji pendahuluan meliputi dimensi benda uji, beban leleh ( $P_y$ ) dan beban maksimum atau beban ultimit ( $P_u$ ). Hasil pengujian digunakan untuk menentukan tegangan leleh ( $F_y$ ) dan tegangan ultimit ( $F_u$ ) yang berguna mengetahui perilaku kolom tersusun. Uji pendahuluan meliputi uji tarik profil *Lips Channal* bentukan dingin, uji tekan dan uji sambungan las.

1. Hasil uji tarik profil *Lips Channal* bentukan dingin.

Hasil dari uji tarik profil *Lips Channal* bentukan dingin di laboratorium disajikan dalam bentuk Tabel berikut ini.

**Tabel 5.1** Hasil pengujian tarik baja

| Benda uji | Luas penampang<br>(mm <sup>2</sup> ) | Beban leleh<br>(kg) | Beban Ultimit<br>(kg) | Beban putus<br>(kg) |
|-----------|--------------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Sampel 1  | 24                                   | 335                 | 460                   | 155                 |
| Sampel 2  | 24                                   | 362,5               | 480                   | 175                 |
| Sampel 3  | 24                                   | 362,5               | 502                   | 190                 |

2. Hasil uji tekan profil *Lips Channal* bentukan dingin.

Hasil dari uji tekan profil *Lips Channal* bentukan dingin dengan pelat dan tanpa pelat disajikan dalam Tabel berikut ini.

**Tabel 5.2.a** Hasil uji kuat tekan profil *Lips Channal* dengan pelat

| Benda uji | $\lambda_f = L_f/r_f$ | Luas penampang (mm <sup>2</sup> ) | Beban maksimum (kg) |
|-----------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Sampel 1  | 25,66                 | 155,8                             | 1385                |
| Sampel 2  | 34,22                 | 155,8                             | 1205                |
| Sampel 3  | 42,77                 | 155,8                             | 1385                |
| Sampel 4  | 51,33                 | 155,8                             | 1190                |

**Tabel 5.2.b** Hasil uji kuat tekan profil *Lips Channal* tanpa pelat

| Benda uji | $\lambda_1 = L_1/r_1$ | Luas penampang (mm <sup>2</sup> ) | Beban maksimum (kg) |
|-----------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Sampel 1  | 25,66                 | 155,8                             | 1385                |
| Sampel 2  | 34,22                 | 155,8                             | 1355                |
| Sampel 3  | 42,77                 | 155,8                             | 1255                |
| Sampel 4  | 51,33                 | 155,8                             | 1360                |

### 3. Hasil uji sambungan las.

Kekuatan las diuji dengan menggunakan tiga benda uji. Ketiga benda uji mempunyai panjang las 1cm. Benda uji pertama mempunyai beban maksimum 2345 kg, benda uji kedua mempunyai beban maksimum 3280 kg dan benda uji ketiga mempunyai beban maksimum 2720 kg.

#### 5.1.2 Hasil pengujian kolom tersusun bentukan dingin

Hasil yang diperoleh dari pengujian berupa besarnya beban yang bekerja dan defleksi kolom. Dari pengujian juga diperoleh beban maksimum yang mampu ditahan oleh kolom yang selanjutnya disebut beban kritis ( $P_{cr}$ ).

Pengukuran lendutan yang terjadi pada kolom dilakukan pada delapan titik yang masing-masing titik berjarak 50 cm. Dial pertama (Dial 1) diletakkan pada jarak 50 cm dari tepi yang langsung menerima beban (ujung yang terdapat dongkrak), dial kedua (Dial 2) diletakkan pada jarak 100 cm dari tepi yang langsung menerima beban, dial ketiga (Dial 3) diletakkan ditengah kolom. Dial keempat (Dial 4) diletakkan pada jarak 100 cm dari tepi yang tidak menerima beban (pelat dasar dukungan) dan dial kelima (Dial 5) diletakkan pada jarak 50

cm dari tepi yang tidak menerima beban. Dial A, dial B dan dial C diletakkan pada profil *Lips Channal* dengan jarak antar dial 50 cm. Dial A diletak pada jarak 100 cm dari tepi yang langsung menerima beban, dial B diletakkan pada tengah-tengah kolom dan dial C diletakkan pada jarak 100 cm dari tepi yang tidak menerima beban. Semua sampel diuji dengan posisi tidur.

Hasil pengujian disajikan dalam bentuk Tabel dan grafik hubungan beban lendutan, yaitu :

1. Kolom tersusun silang ganda yang dirangkai saling berhadapan (*front to front*).

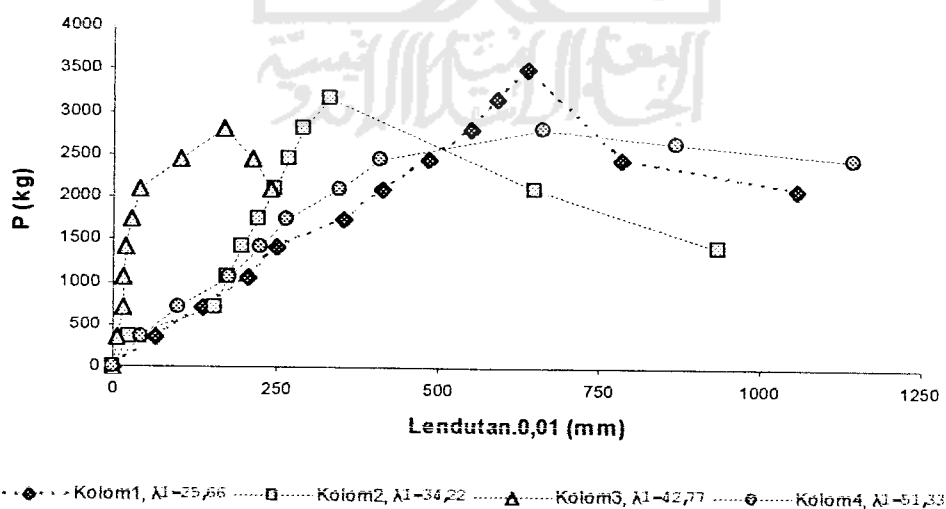
Hasil dari pengujian tekan kolom tersusun yang dirangkai saling berhadapan (*front to front*) disajikan dalam Tabel 5.3 sampai dengan Tabel 5.10. Kemudian dari data hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik yang seperti pada Gambar 5.1 sampai dengan Gambar 5.8.

- a. Hasil pengujian pada dial 1 disajikan dalam Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda  
*Front to Front* pada dial 1

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 1 |                       |                              |                       |                              |                       |                              |                       |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom1,<br>$\lambda_r=25,66$                |                       | Kolom2,<br>$\lambda_r=34,22$ |                       | Kolom3,<br>$\lambda_r=42,77$ |                       | Kolom4,<br>$\lambda_r=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                               | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 0   | 0                     | 0                            | 0                     | 0                            | 0                     | 0                            | 0                     |
| 350   | 66                    | 350                          | 26                    | 350                          | 7                     | 350                          | 44                    |
| 700   | 139                   | 700                          | 155                   | 700                          | 16                    | 700                          | 101                   |
| 1050  | 205                   | 1050                         | 174                   | 1050                         | 16                    | 1050                         | 178                   |
| 1400  | 251                   | 1400                         | 198                   | 1400                         | 19                    | 1400                         | 224                   |
| 1750  | 352                   | 1750                         | 221                   | 1750                         | 28                    | 1750                         | 266                   |
| 2100  | 413                   | 2100                         | 248                   | 2100                         | 42                    | 2100                         | 348                   |
| 2450  | 483                   | 2450                         | 268                   | 2450                         | 102                   | 2450                         | 410                   |
| 2800  | 552                   | 2800                         | 292                   | 2800                         | 169                   | 2800                         | 663                   |
| 3150  | 590                   | 3150                         | 330                   | 2450                         | 212                   | 2625                         | 868                   |
| 3500  | 639                   | 2100                         | 650                   | 2100                         | 241                   | 2450                         | 1145                  |
| 2450  | 783                   | 1400                         | 933                   |                              |                       |                              |                       |
| 2100  | 1056                  |                              |                       |                              |                       |                              |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.3 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.1.



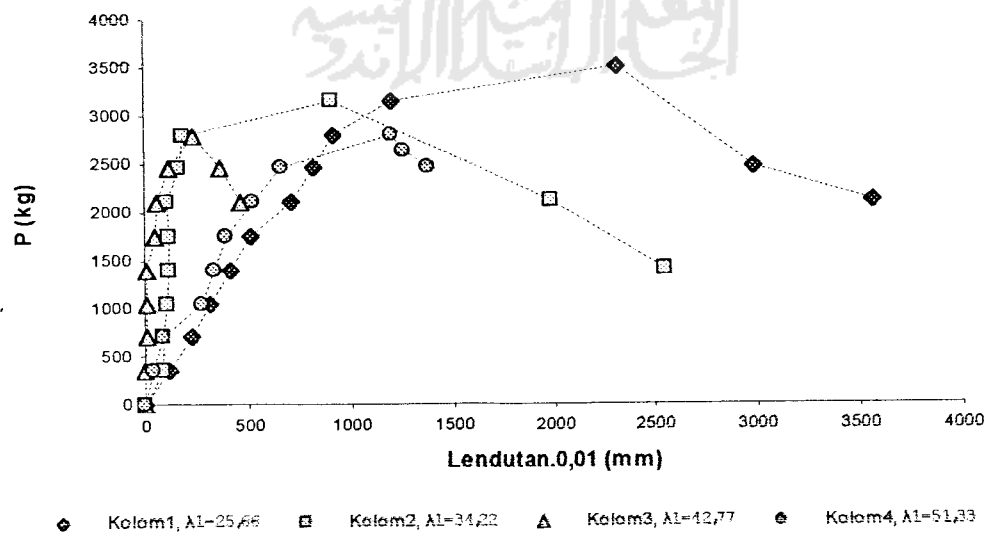
Gambar 5.1 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda  
*Front to Front* pada dial 1

b. Hasil pengujian pada dial 2 disajikan dalam Tabel 5.4.

**Tabel 5.4** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 2

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 2 |                       |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kolom1,<br>$A_1=25,66$                      |                       | Kolom2,<br>$A_1=34,22$ |                       | Kolom3,<br>$A_1=42,77$ |                       | Kolom4,<br>$A_1=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                               | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 0   | 0                     | 0                      | 0                     | 0                      | 0                     | 0                      | 0                     |
| 350   | 120                   | 350                    | 86                    | 350                    | 0                     | 350                    | 36                    |
| 700   | 222                   | 700                    | 90                    | 700                    | 11                    | 700                    | 87                    |
| 1050  | 319                   | 1050                   | 112                   | 1050                   | 12                    | 1050                   | 275                   |
| 1400  | 411                   | 1400                   | 114                   | 1400                   | 14                    | 1400                   | 334                   |
| 1750  | 512                   | 1750                   | 116                   | 1750                   | 48                    | 1750                   | 398                   |
| 2100  | 707                   | 2100                   | 105                   | 2100                   | 60                    | 2100                   | 516                   |
| 2450  | 815                   | 2450                   | 170                   | 2450                   | 121                   | 2450                   | 659                   |
| 2800  | 912                   | 2800                   | 187                   | 2800                   | 239                   | 2800                   | 1198                  |
| 3150  | 1202                  | 3150                   | 904                   | 2450                   | 366                   | 2625                   | 1256                  |
| 3500  | 2305                  | 2100                   | 1985                  | 2100                   | 464                   | 2450                   | 1375                  |
| 2450  | 2981                  | 1400                   | 2544                  |                        |                       |                        |                       |
| 2100  | 3558                  |                        |                       |                        |                       |                        |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.4 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.2.



**Gambar 5.2** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 2

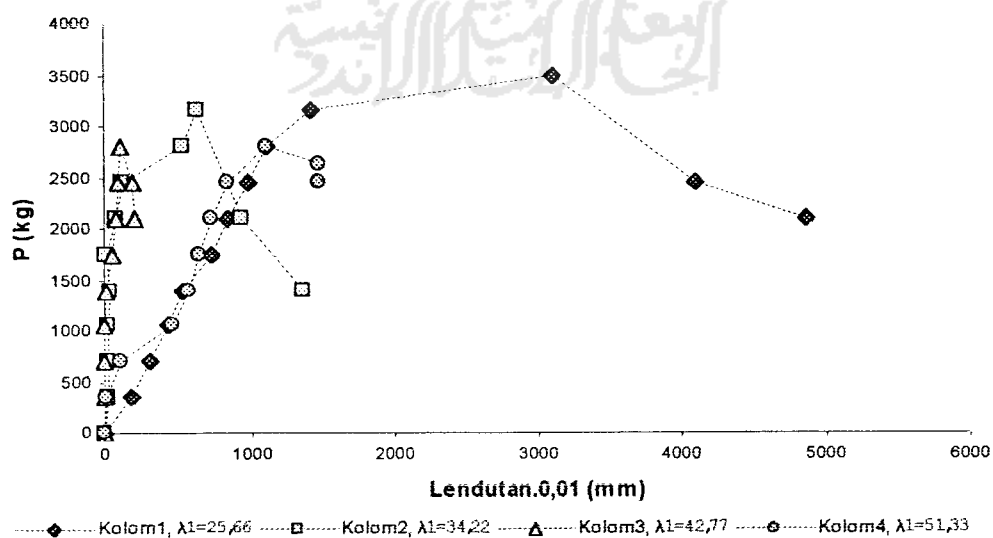
c. Hasil pengujian pada dial 3 disajikan dalam Tabel 5.5.

**Tabel 5.5** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda

*Front to Front* pada dial 3

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 3 |                       |                              |                       |                              |                       |                              |                       |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom1,<br>$\lambda_1=25,66$                |                       | Kolom2,<br>$\lambda_1=34,22$ |                       | Kolom3,<br>$\lambda_1=42,77$ |                       | Kolom4,<br>$\lambda_1=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                               | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 0   | 0                     | 0                            | 0                     | 0                            | 0                     | 0                            | 0                     |
| 350   | 180                   | 350                          | 26                    | 350                          | 0                     | 350                          | 13                    |
| 700   | 314                   | 700                          | 27                    | 700                          | 0                     | 700                          | 110                   |
| 1050  | 432                   | 1050                         | 31                    | 1050                         | 0                     | 1050                         | 457                   |
| 1400  | 538                   | 1400                         | 37                    | 1400                         | 14                    | 1400                         | 569                   |
| 1750  | 731                   | 1750                         | 15                    | 1750                         | 62                    | 1750                         | 637                   |
| 2100  | 844                   | 2100                         | 82                    | 2100                         | 84                    | 2100                         | 734                   |
| 2450  | 974                   | 2450                         | 123                   | 2450                         | 104                   | 2450                         | 845                   |
| 2800  | 1106                  | 2800                         | 538                   | 2800                         | 112                   | 2800                         | 1107                  |
| 3150  | 1419                  | 3150                         | 629                   | 2450                         | 189                   | 2625                         | 1465                  |
| 3500  | 3100                  | 2100                         | 935                   | 2100                         | 203                   | 2450                         | 1472                  |
| 2450  | 4094                  | 1400                         | 1355                  |                              |                       |                              |                       |
| 2100  | 4872                  |                              |                       |                              |                       |                              |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.5 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.3.



**Gambar 5.3** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda

*Front to Front* pada dial 3

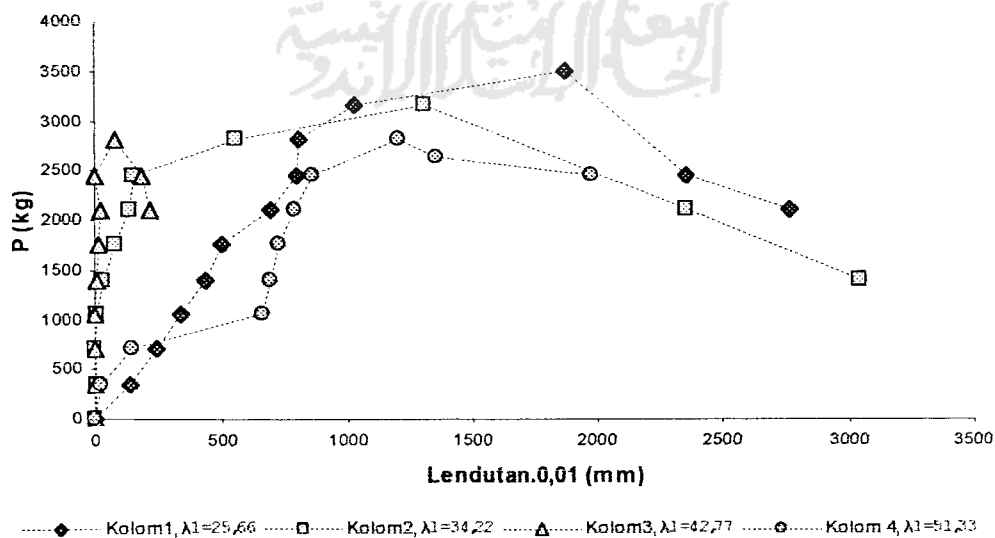
d. Hasil pengujian pada dial 4 disajikan dalam Tabel 5.6.

**Tabel 5.6** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda

*Front to Front* pada dial 4

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 4 |                       |                              |                       |                              |                       |                               |                       |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Kolom1,<br>$\lambda_r=25,66$                |                       | Kolom2,<br>$\lambda_r=34,22$ |                       | Kolom3,<br>$\lambda_r=42,77$ |                       | Kolom 4,<br>$\lambda_r=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                               | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                 | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 0   | 0                     | 0                            | 0                     | 0                            | 0                     | 0                             | 0                     |
| 350   | 135                   | 350                          | 12                    | 350                          | 0                     | 350                           | 25                    |
| 700   | 241                   | 700                          | 0                     | 700                          | 0                     | 700                           | 147                   |
| 1050  | 337                   | 1050                         | 12                    | 1050                         | 1                     | 1050                          | 657                   |
| 1400  | 430                   | 1400                         | 31                    | 1400                         | 6                     | 1400                          | 691                   |
| 1750  | 501                   | 1750                         | 78                    | 1750                         | 18                    | 1750                          | 722                   |
| 2100  | 693                   | 2100                         | 139                   | 2100                         | 26                    | 2100                          | 783                   |
| 2450  | 796                   | 2450                         | 149                   | 2450                         | 2                     | 2450                          | 857                   |
| 2800  | 801                   | 2800                         | 557                   | 2800                         | 83                    | 2800                          | 1205                  |
| 3150  | 1028                  | 3150                         | 1311                  | 2450                         | 182                   | 2625                          | 1359                  |
| 3500  | 1868                  | 2100                         | 2350                  | 2100                         | 218                   | 2450                          | 1972                  |
| 2450  | 2350                  | 1400                         | 3040                  |                              |                       |                               |                       |
| 2100  | 2759                  |                              |                       |                              |                       |                               |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.6 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.4.



**Gambar 5.4** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda

*Front to Front* pada dial 4

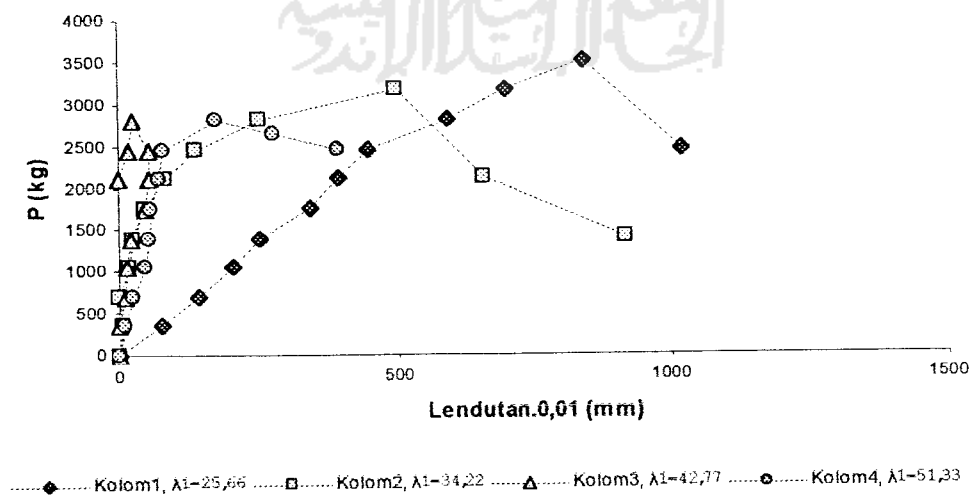


e. Hasil pengujian pada dial 5 disajikan dalam Tabel 5.7.

**Tabel 5.7** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 5

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 5 |                       |                              |                       |                              |                       |                              |                       |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom1,<br>$\lambda_1=25,66$                |                       | Kolom2,<br>$\lambda_1=34,22$ |                       | Kolom3,<br>$\lambda_1=42,77$ |                       | Kolom4,<br>$\lambda_1=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                               | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 0   | 0                     | 0                            | 0                     | 0                            | 0                     | 0                            | 0                     |
| 350   | 78                    | 350                          | 6                     | 350                          | 0                     | 350                          | 12                    |
| 700   | 140                   | 700                          | 0                     | 700                          | 10                    | 700                          | 27                    |
| 1050  | 204                   | 1050                         | 17                    | 1050                         | 13                    | 1050                         | 48                    |
| 1400  | 250                   | 1400                         | 27                    | 1400                         | 20                    | 1400                         | 54                    |
| 1750  | 343                   | 1750                         | 49                    | 1750                         | 46                    | 1750                         | 59                    |
| 2100  | 394                   | 2100                         | 84                    | 2100                         | 55                    | 2100                         | 71                    |
| 2450  | 448                   | 2450                         | 138                   | 2450                         | 56                    | 2450                         | 80                    |
| 2800  | 591                   | 2800                         | 252                   | 2800                         | 25                    | 2800                         | 173                   |
| 3150  | 699                   | 3150                         | 499                   | 2450                         | 19                    | 2625                         | 277                   |
| 3500  | 838                   | 2100                         | 657                   | 2100                         | 1                     | 2450                         | 393                   |
| 2450  | 1017                  | 1400                         | 916                   |                              |                       |                              |                       |
| 2100  | 1159                  |                              |                       |                              |                       |                              |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.7 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.5.



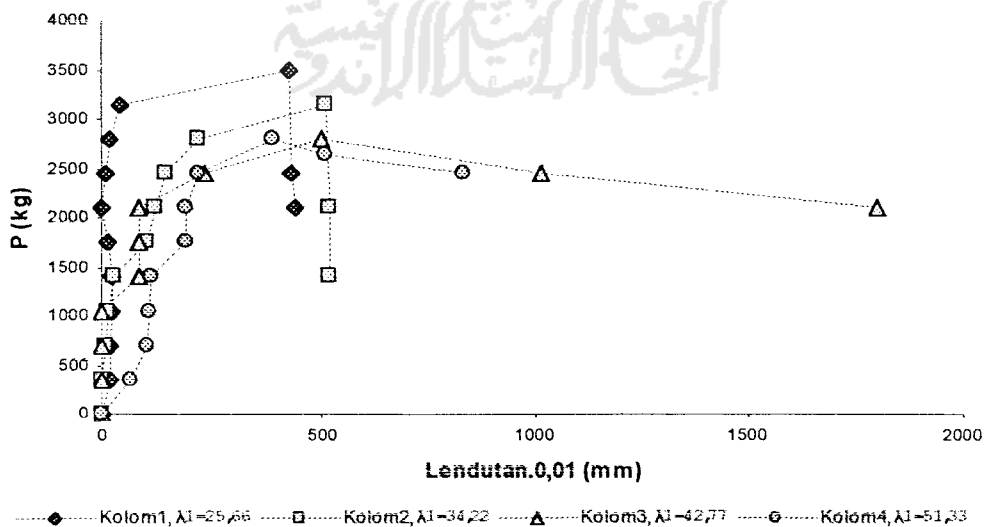
**Gambar 5.5** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 5

f. Hasil pengujian pada dial A disajikan dalam Tabel 5.8.

**Tabel 5.8** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda  
*Front to Front* pada dial A

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL A |                    |                               |                    |                               |                    |                               |                    |
|---|--------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|
| Kolom 1,<br>$\lambda_r=25,66$               |                    | Kolom 2,<br>$\lambda_r=34,22$ |                    | Kolom 3,<br>$\lambda_r=42,77$ |                    | Kolom 4,<br>$\lambda_1=51,33$ |                    |
| Beban (kg)                                  | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg)                    | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg)                    | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg)                    | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 0   | 0                  | 0                             | 0                  | 0                             | 0                  | 0                             | 0                  |
| 350   | 21                 | 350                           | 2                  | 350                           | 0                  | 350                           | 65                 |
| 700   | 21                 | 700                           | 10                 | 700                           | 0                  | 700                           | 103                |
| 1050  | 22                 | 1050                          | 15                 | 1050                          | 0                  | 1050                          | 107                |
| 1400  | 22                 | 1400                          | 29                 | 1400                          | 85                 | 1400                          | 112                |
| 1750  | 12                 | 1750                          | 105                | 1750                          | 84                 | 1750                          | 190                |
| 2100  | 1                  | 2100                          | 120                | 2100                          | 85                 | 2100                          | 193                |
| 2450  | 9                  | 2450                          | 145                | 2450                          | 232                | 2450                          | 219                |
| 2800  | 18                 | 2800                          | 220                | 2800                          | 503                | 2800                          | 389                |
| 3150  | 40                 | 3150                          | 510                | 2450                          | 1015               | 2625                          | 512                |
| 3500  | 425                | 2100                          | 518                | 2100                          | 1800               | 2450                          | 836                |
| 2450  | 432                | 1400                          | 518                |                               |                    |                               |                    |
| 2100  | 439                |                               |                    |                               |                    |                               |                    |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.8 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.6.



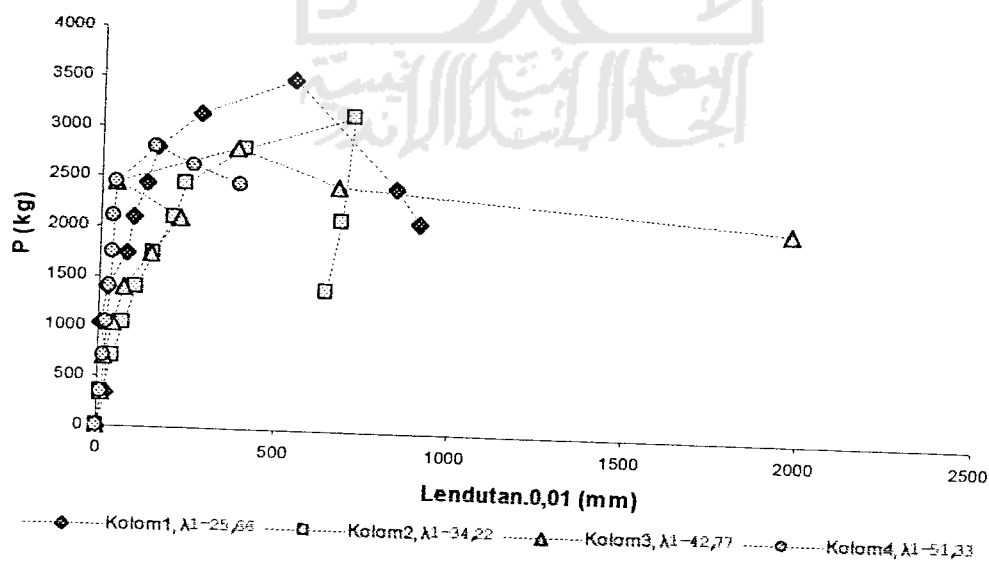
**Gambar 5.6** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda  
*Front to Front* pada dial A

g. Hasil pengujian pada dial B disajikan dalam Tabel 5.9

**Tabel 5.9** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial B

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL B |                         |                        |                         |                        |                         |                        |                         |
|---|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| Kolom1,<br>$A_1=25,66$                      |                         | Kolom2,<br>$A_1=34,22$ |                         | Kolom3,<br>$A_1=42,77$ |                         | Kolom4,<br>$A_1=51,33$ |                         |
| Beban<br>(kg)                               | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) |
| 0   | 0                       | 0                      | 0                       | 0                      | 0                       | 0                      | 0                       |
| 350   | 21                      | 350                    | 12                      | 350                    | 10                      | 350                    | 10                      |
| 700   | 25                      | 700                    | 40                      | 700                    | 16                      | 700                    | 17                      |
| 1050  | 3                       | 1050                   | 72                      | 1050                   | 40                      | 1050                   | 24                      |
| 1400  | 24                      | 1400                   | 105                     | 1400                   | 70                      | 1400                   | 30                      |
| 1750  | 75                      | 1750                   | 153                     | 1750                   | 142                     | 1750                   | 34                      |
| 2100  | 95                      | 2100                   | 210                     | 2100                   | 224                     | 2100                   | 32                      |
| 2450  | 126                     | 2450                   | 235                     | 2450                   | 40                      | 2450                   | 42                      |
| 2800  | 157                     | 2800                   | 402                     | 2800                   | 380                     | 2800                   | 152                     |
| 3150  | 278                     | 3150                   | 710                     | 2450                   | 670                     | 2625                   | 260                     |
| 3500  | 536                     | 2100                   | 683                     | 2100                   | 1975                    | 2450                   | 395                     |
| 2450  | 835                     | 1400                   | 643                     |                        |                         |                        |                         |
| 2100  | 907                     |                        |                         |                        |                         |                        |                         |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.9 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.7.



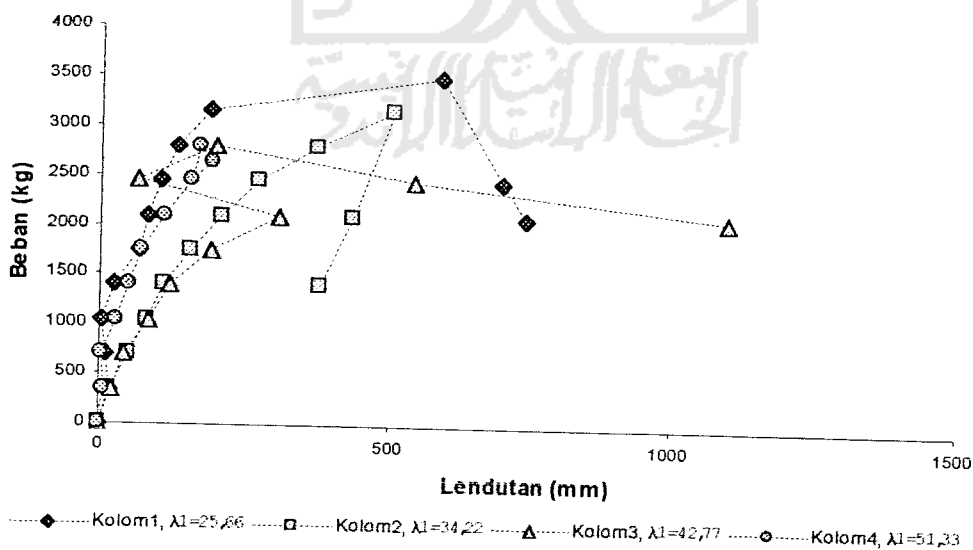
**Gambar 5.7** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial B

h. Hasil pengujian pada dial C disajikan dalam Tabel 5.10.

**Tabel 5.10** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial C

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL C |                    |                              |                    |                              |                    |                              |                    |
|---|--------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|
| Kolom1,<br>$\lambda_1=25,66$                |                    | Kolom2,<br>$\lambda_1=34,22$ |                    | Kolom3,<br>$\lambda_1=42,77$ |                    | Kolom4,<br>$\lambda_1=51,33$ |                    |
| Beban (kg)                                  | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg)                   | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg)                   | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg)                   | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 0   | 0                  | 0                            | 0                  | 0                            | 0                  | 0                            | 0                  |
| 350   | 18                 | 350                          | 16                 | 350                          | 22                 | 350                          | 8                  |
| 700   | 12                 | 700                          | 49                 | 700                          | 43                 | 700                          | 2                  |
| 1050  | 5                  | 1050                         | 82                 | 1050                         | 85                 | 1050                         | 28                 |
| 1400  | 25                 | 1400                         | 110                | 1400                         | 119                | 1400                         | 51                 |
| 1750  | 66                 | 1750                         | 155                | 1750                         | 190                | 1750                         | 70                 |
| 2100  | 81                 | 2100                         | 207                | 2100                         | 308                | 2100                         | 110                |
| 2450  | 102                | 2450                         | 270                | 2450                         | 65                 | 2450                         | 155                |
| 2800  | 130                | 2800                         | 370                | 2800                         | 198                | 2800                         | 170                |
| 3150  | 186                | 3150                         | 503                | 2450                         | 545                | 2625                         | 192                |
| 3500  | 590                | 2100                         | 433                | 2100                         | 1098               | 2450                         | 155                |
| 2450  | 700                | 1400                         | 376                |                              |                    |                              |                    |
| 2100  | 740                |                              |                    |                              |                    |                              |                    |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.10 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.8.



**Gambar 5.8** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial C

2. Kolom tersusun silang ganda yang dirancang saling membelakangi (*back to back*).

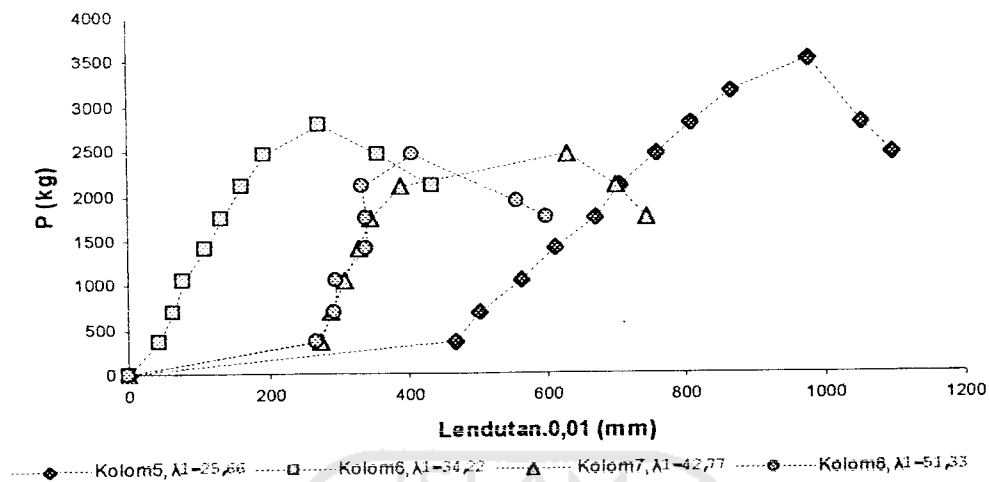
Hasil dari pengujian tekan kolom tersusun yang dirangkai saling berhadapan (*front to front*) disajikan dalam Tabel 5.11 sampai dengan Tabel 5.18. Kemudian dari data hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik yang seperti pada Gambar 5.9 sampai dengan Gambar 5.16.

- a. Hasil pengujian pada dial 1 disajikan dalam Tabel 5.11.

**Tabel 5.11** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 1

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 1 |                       |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kolom5,<br>$A_r=25,66$                    |                       | Kolom6,<br>$A_r=34,22$ |                       | Kolom7,<br>$A_r=42,77$ |                       | Kolom8,<br>$A_r=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                             | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 0   | 0                     | 0                      | 0                     | 0                      | 0                     | 0                      | 0                     |
| 350                                       | 467                   | 350                    | 43                    | 350                    | 274                   | 350                    | 268                   |
| 700                                       | 503                   | 700                    | 64                    | 700                    | 289                   | 700                    | 294                   |
| 1050                                      | 564                   | 1050                   | 79                    | 1050                   | 307                   | 1050                   | 295                   |
| 1400                                      | 613                   | 1400                   | 109                   | 1400                   | 328                   | 1400                   | 340                   |
| 1750                                      | 671                   | 1750                   | 134                   | 1750                   | 346                   | 1750                   | 341                   |
| 2100                                      | 706                   | 2100                   | 164                   | 2100                   | 389                   | 2100                   | 335                   |
| 2450                                      | 757                   | 2450                   | 196                   | 2450                   | 631                   | 2450                   | 408                   |
| 2800                                      | 808                   | 2800                   | 272                   | 2100                   | 700                   | 1925                   | 558                   |
| 3150                                      | 866                   | 2450                   | 356                   | 1750                   | 745                   | 1750                   | 600                   |
| 3500                                      | 975                   | 2100                   | 437                   |                        |                       |                        |                       |
| 2800                                      | 1053                  |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
| 2450                                      | 1096                  |                        |                       |                        |                       |                        |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.11 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.9.



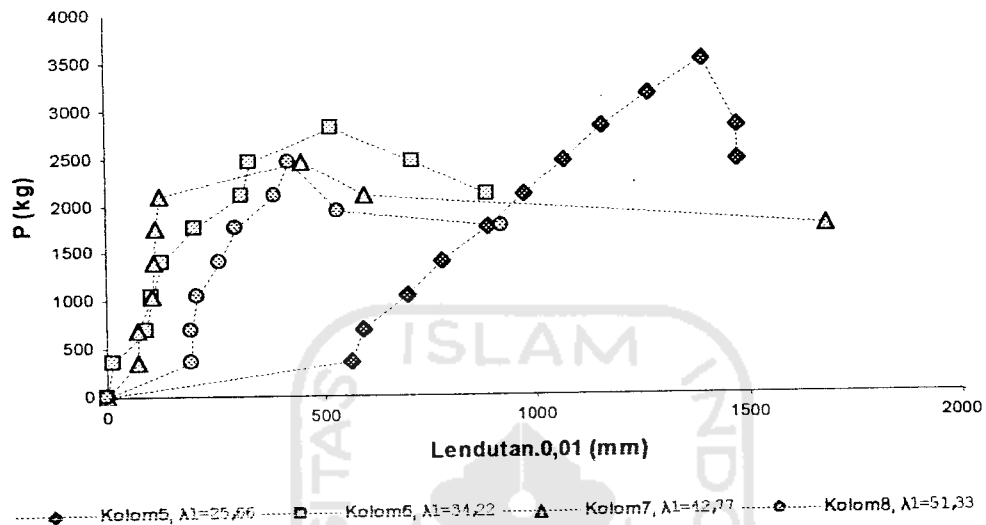
Gambar 5.9 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 1

b. Hasil pengujian pada dial 2 disajikan dalam Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 2

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 2 |                       |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kolom5,<br>$A_1=25,66$                    |                       | Kolom6,<br>$A_1=34,22$ |                       | Kolom7,<br>$A_1=42,77$ |                       | Kolom8,<br>$A_1=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                             | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 0   | 0                     | 0                      | 0                     | 0                      | 0                     | 0                      | 0                     |
| 350                                       | 566                   | 350                    | 15                    | 350                    | 71                    | 350                    | 194                   |
| 700                                       | 591                   | 700                    | 89                    | 700                    | 71                    | 700                    | 195                   |
| 1050                                      | 698                   | 1050                   | 103                   | 1050                   | 103                   | 1050                   | 208                   |
| 1400                                      | 778                   | 1400                   | 127                   | 1400                   | 108                   | 1400                   | 261                   |
| 1750                                      | 886                   | 1750                   | 205                   | 1750                   | 112                   | 1750                   | 300                   |
| 2100                                      | 971                   | 2100                   | 311                   | 2100                   | 123                   | 2100                   | 389                   |
| 2450                                      | 1066                  | 2450                   | 331                   | 2450                   | 450                   | 2450                   | 420                   |
| 2800                                      | 1157                  | 2800                   | 521                   | 2100                   | 596                   | 1925                   | 536                   |
| 3150                                      | 1266                  | 2450                   | 711                   | 1750                   | 1683                  | 1750                   | 921                   |
| 3500                                      | 1391                  | 2100                   | 885                   |                        |                       |                        |                       |
| 2800                                      | 1475                  |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
| 2450                                      | 1476                  |                        |                       |                        |                       |                        |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.12 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.10.



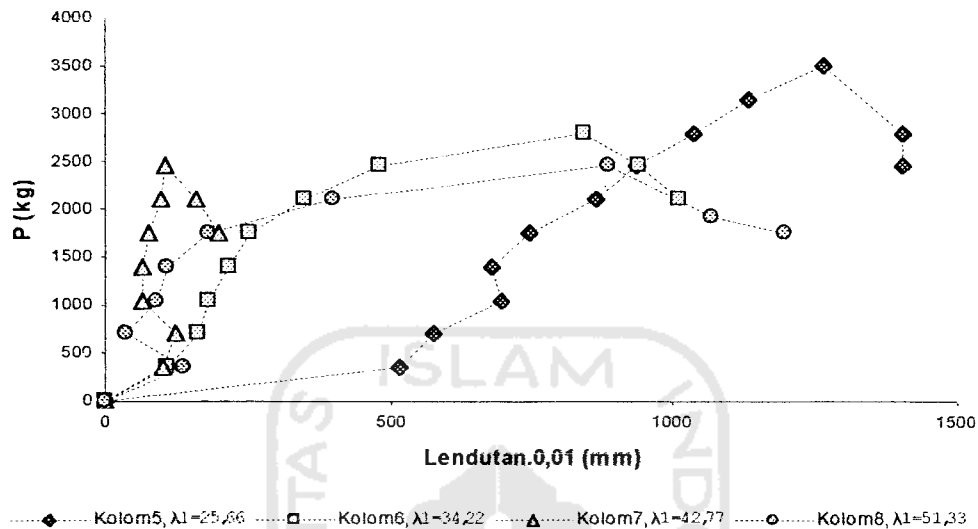
**Gambar 5.10** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 2

c. Hasil pengujian pada dial 3 disajikan dalam Tabel 5.13.

**Tabel 5.13** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 3

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 3 |                       |                              |                       |                              |                       |                              |                       |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom5,<br>$\lambda_1=25,66$              |                       | Kolom6,<br>$\lambda_1=34,22$ |                       | Kolom7,<br>$\lambda_1=42,77$ |                       | Kolom8,<br>$\lambda_1=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                             | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 0   | 0                     | 0                            | 0                     | 0                            | 0                     | 0                            | 0                     |
| 350                                       | 515                   | 350                          | 106                   | 350                          | 101                   | 350                          | 135                   |
| 700                                       | 574                   | 700                          | 160                   | 700                          | 121                   | 700                          | 36                    |
| 1050                                      | 698                   | 1050                         | 177                   | 1050                         | 63                    | 1050                         | 91                    |
| 1400                                      | 678                   | 1400                         | 213                   | 1400                         | 64                    | 1400                         | 106                   |
| 1750                                      | 746                   | 1750                         | 250                   | 1750                         | 76                    | 1750                         | 177                   |
| 2100                                      | 866                   | 2100                         | 345                   | 2100                         | 98                    | 2100                         | 396                   |
| 2450                                      | 935                   | 2450                         | 478                   | 2450                         | 104                   | 2450                         | 885                   |
| 2800                                      | 1034                  | 2800                         | 843                   | 2100                         | 157                   | 1925                         | 1068                  |
| 3150                                      | 1131                  | 2450                         | 940                   | 1750                         | 195                   | 1750                         | 1198                  |
| 3500                                      | 1264                  | 2100                         | 1011                  |                              |                       |                              |                       |
| 2800                                      | 1402                  |                              |                       |                              |                       |                              |                       |
| 2450                                      | 1405                  |                              |                       |                              |                       |                              |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.13 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.11.



**Gambar 5.11** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 3

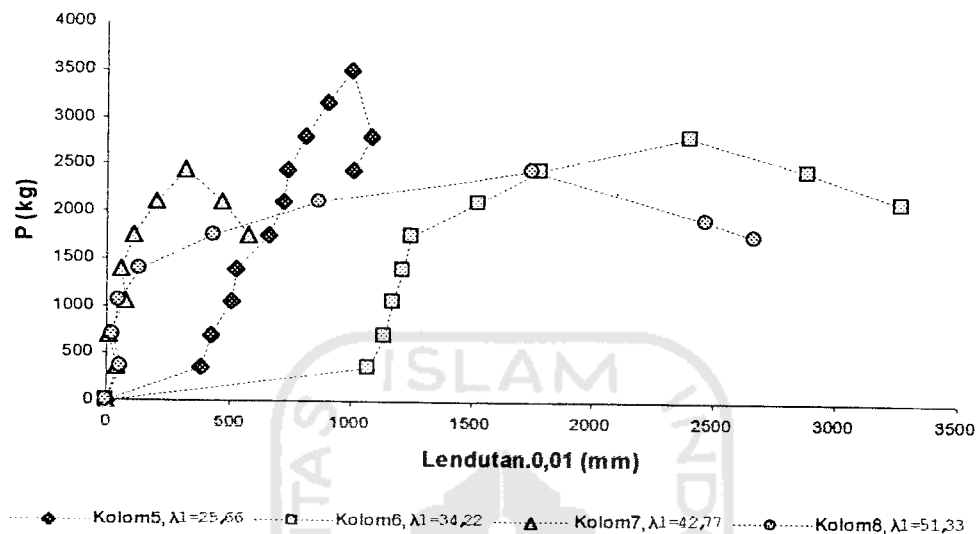
d. Hasil pengujian pada dial 4 disajikan dalam Tabel 5.14.

**Tabel 5.14** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 4

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 4 |                       |                              |                       |                              |                       |                              |                       |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom5,<br>$\lambda_1=25,66$              |                       | Kolom6,<br>$\lambda_1=34,22$ |                       | Kolom7,<br>$\lambda_1=42,77$ |                       | Kolom8,<br>$\lambda_1=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                             | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 0   | 0                     | 0                            | 0                     | 0                            | 0                     | 0                            | 0                     |
| 350                                       | 385                   | 350                          | 1075                  | 350                          | 41                    | 350                          | 55                    |
| 700                                       | 429                   | 700                          | 1143                  | 700                          | 5                     | 700                          | 25                    |
| 1050                                      | 506                   | 1050                         | 1171                  | 1050                         | 76                    | 1050                         | 53                    |
| 1400                                      | 523                   | 1400                         | 1214                  | 1400                         | 60                    | 1400                         | 133                   |
| 1750                                      | 657                   | 1750                         | 1247                  | 1750                         | 109                   | 1750                         | 432                   |
| 2100                                      | 714                   | 2100                         | 1527                  | 2100                         | 198                   | 2100                         | 865                   |
| 2450                                      | 736                   | 2450                         | 1787                  | 2450                         | 318                   | 2450                         | 1749                  |
| 2800                                      | 811                   | 2800                         | 2404                  | 2100                         | 463                   | 1925                         | 2467                  |
| 3150                                      | 896                   | 2450                         | 2886                  | 1750                         | 578                   | 1750                         | 2667                  |
| 3500                                      | 1004                  | 2100                         | 3270                  |                              |                       |                              |                       |
| 2800                                      | 1080                  |                              |                       |                              |                       |                              |                       |
| 2450                                      | 1007                  |                              |                       |                              |                       |                              |                       |



Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.14 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.12.



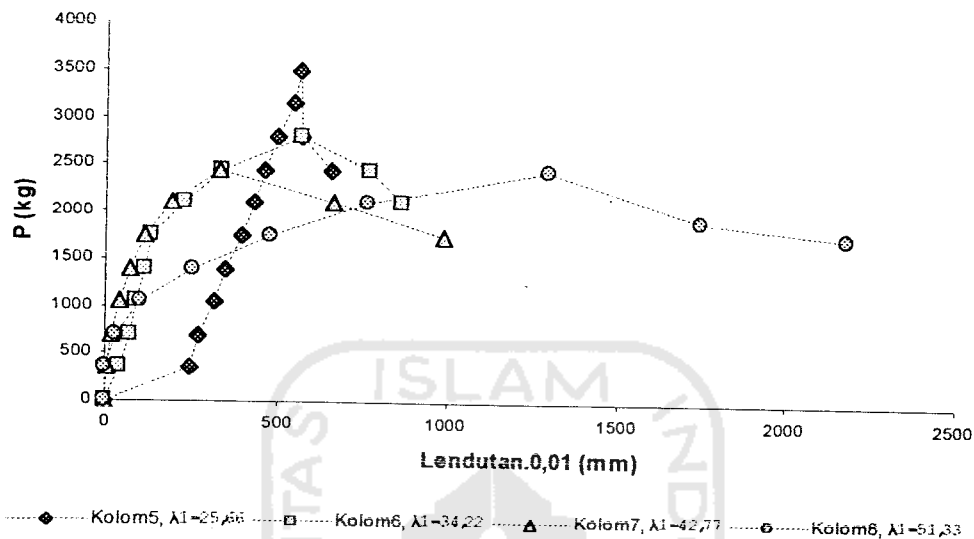
Gambar 5.12 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 4

e. Hasil pengujian pada dial 5 disajikan dalam Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 5

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 5 |                       |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kolom5,<br>$A_1=25,66$                    |                       | Kolom6,<br>$A_1=34,22$ |                       | Kolom7,<br>$A_1=42,77$ |                       | Kolom8,<br>$A_1=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                             | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 0   | 0                     | 0                      | 0                     | 0                      | 0                     | 0                      | 0                     |
| 350                                       | 245                   | 350                    | 39                    | 350                    | 7                     | 350                    | 1                     |
| 700                                       | 269                   | 700                    | 74                    | 700                    | 20                    | 700                    | 31                    |
| 1050                                      | 312                   | 1050                   | 89                    | 1050                   | 41                    | 1050                   | 102                   |
| 1400                                      | 342                   | 1400                   | 110                   | 1400                   | 73                    | 1400                   | 248                   |
| 1750                                      | 394                   | 1750                   | 133                   | 1750                   | 114                   | 1750                   | 473                   |
| 2100                                      | 426                   | 2100                   | 225                   | 2100                   | 190                   | 2100                   | 761                   |
| 2450                                      | 458                   | 2450                   | 332                   | 2450                   | 328                   | 2450                   | 1295                  |
| 2800                                      | 495                   | 2800                   | 567                   | 2100                   | 657                   | 1925                   | 1745                  |
| 3150                                      | 538                   | 2450                   | 766                   | 1750                   | 986                   | 1750                   | 2180                  |
| 3500                                      | 559                   | 2100                   | 863                   |                        |                       |                        |                       |
| 2800                                      | 562                   |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
| 2450                                      | 656                   |                        |                       |                        |                       |                        |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.15 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.13.



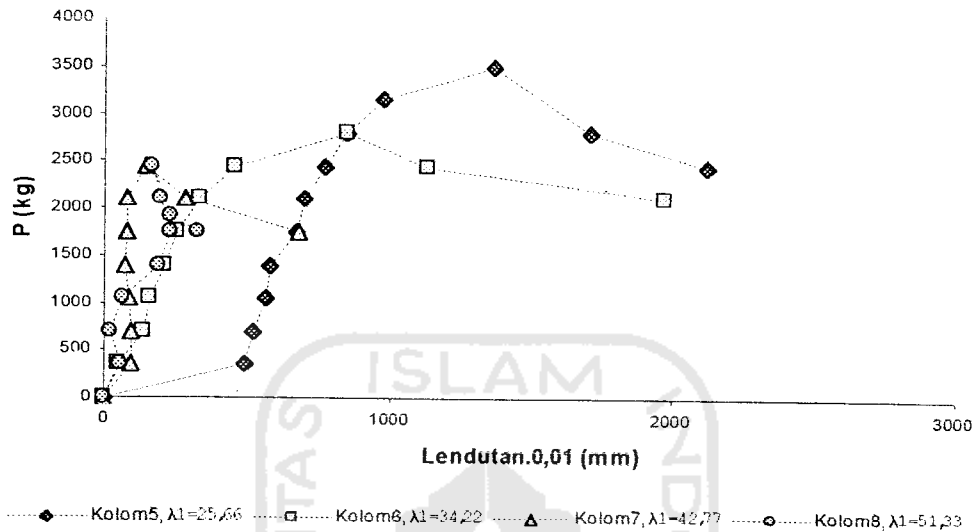
Gambar 5.13 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 5

f. Hasil pengujian pada dial 5 disajikan dalam Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial A

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL A |                       |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kolom5,<br>$A_1=25,66$                    |                       | Kolom6,<br>$A_1=34,22$ |                       | Kolom7,<br>$A_1=42,77$ |                       | Kolom8,<br>$A_1=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                             | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 0   | 0                     | 0                      | 0                     | 0                      | 0                     | 0                      | 0                     |
| 350                                       | 542                   | 350                    | 37                    | 350                    | 147                   | 350                    | 80                    |
| 700                                       | 547                   | 700                    | 97                    | 700                    | 147                   | 700                    | 99                    |
| 1050                                      | 570                   | 1050                   | 122                   | 1050                   | 147                   | 1050                   | 56                    |
| 1400                                      | 586                   | 1400                   | 160                   | 1400                   | 142                   | 1400                   | 21                    |
| 1750                                      | 580                   | 1750                   | 191                   | 1750                   | 143                   | 1750                   | 34                    |
| 2100                                      | 693                   | 2100                   | 230                   | 2100                   | 157                   | 2100                   | 64                    |
| 2450                                      | 788                   | 2450                   | 274                   | 2450                   | 166                   | 2450                   | 136                   |
| 2800                                      | 885                   | 2800                   | 487                   | 2100                   | 138                   | 1925                   | 97                    |
| 3150                                      | 1050                  | 2450                   | 1180                  | 1750                   | 542                   | 1750                   | 36                    |
| 3500                                      | 1510                  | 2100                   | 1917                  |                        |                       |                        |                       |
| 2800                                      | 1860                  |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
| 2450                                      | 2710                  |                        |                       |                        |                       |                        |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.17 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.15.



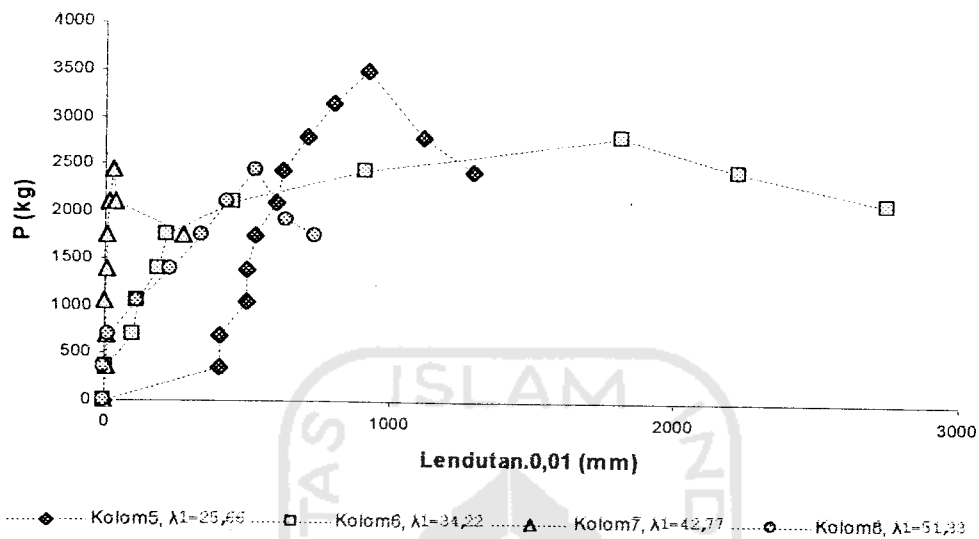
Gambar 5.15 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial B

h. Hasil pengujian pada dial C disajikan dalam Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial C

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL C |                         |                              |                         |                              |                         |                              |                         |
|---|-------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Kolom5,<br>$\lambda_1=25,66$              |                         | Kolom6,<br>$\lambda_1=34,22$ |                         | Kolom7,<br>$\lambda_1=42,77$ |                         | Kolom8,<br>$\lambda_1=51,33$ |                         |
| Beban<br>(kg)                             | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) |
| 0   | 0                       | 0                            | 0                       | 0                            | 0                       | 0                            | 0                       |
| 350                                       | 397                     | 350                          | 9                       | 350                          | 9                       | 350                          | 2                       |
| 700                                       | 400                     | 700                          | 103                     | 700                          | 8                       | 700                          | 12                      |
| 1050                                      | 490                     | 1050                         | 113                     | 1050                         | 3                       | 1050                         | 112                     |
| 1400                                      | 491                     | 1400                         | 182                     | 1400                         | 4                       | 1400                         | 230                     |
| 1750                                      | 520                     | 1750                         | 214                     | 1750                         | 9                       | 1750                         | 338                     |
| 2100                                      | 591                     | 2100                         | 443                     | 2100                         | 17                      | 2100                         | 419                     |
| 2450                                      | 613                     | 2450                         | 908                     | 2450                         | 32                      | 2450                         | 517                     |
| 2800                                      | 695                     | 2800                         | 1809                    | 2100                         | 39                      | 1925                         | 627                     |
| 3150                                      | 790                     | 2450                         | 2222                    | 1750                         | 274                     | 1750                         | 725                     |
| 3500                                      | 914                     | 2100                         | 2740                    |                              |                         |                              |                         |
| 2800                                      | 1110                    |                              |                         |                              |                         |                              |                         |
| 2450                                      | 1290                    |                              |                         |                              |                         |                              |                         |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.18 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.16.



**Gambar 5.16** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial C

## 5.2 Pembahasan

Hasil pengujian pendahuluan dan hasil pengujian sampel kolom tersusun akan dibahas untuk mengetahui kapasitas profil *Lips Channal* bentukan dingin dan kapasitas kolom tersusun. Pembahasan ini akan meliputi pembahasan uji pendahuluan dan pembahasan kolom bentukan dingin.

### 5.2.1 Pembahasan uji pendahuluan

Data yang diperoleh dari uji pendahuluan berguna untuk mendapatkan properti dari profil baja yang digunakan dalam pengujian. Tegangan leleh ( $F_y$ ) didapatkan dengan membagi beban leleh dengan luas penampang ( $F_y = P_y/A$ ). Tegangan ultimit ( $F_u$ ) didapatkan dengan membagi beban maksimum dengan luas

penampang ( $F_u = P_u/A$ ). Tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) diperoleh dengan membagi beban maksimum dengan luas penampang ( $F_{cr} = P_{cr}/A$ ). Kekuatan las didapatkan dengan membagi beban maksimum dengan luas efektif las, sehingga tegangan las diketahui dengan cara tersebut.

1. Hasil pengujian tarik .

Hasil perhitungan pada pengujian tarik baja disajikan dalam Tabel 5.19.

**Tabel 5.19** Hasil perhitungan benda uji tarik

| Benda uji | Tegangan leleh ( $F_y$ )<br>(MPa) | Tegangan Ultimit ( $F_u$ )<br>(MPa) | Tegangan putus<br>(MPa) |
|-----------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Sampel 1  | 139,6                             | 191,7                               | 63,36                   |
| Sampel 2  | 151                               | 200                                 | 71,53                   |
| Sampel 3  | 151                               | 209,2                               | 77,66                   |
| Rata-rata | 147,2                             | 200,3                               | 70,85                   |

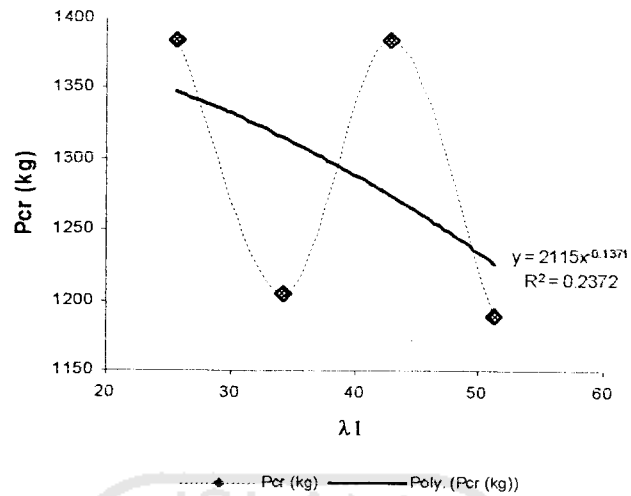
2. Hasil pengujian tekan.

Hasil perhitungan pada pengujian tekan profil *Lips Channal* dengan pelat dan tanpa pelat disajikan dalam Tabel 5.20.

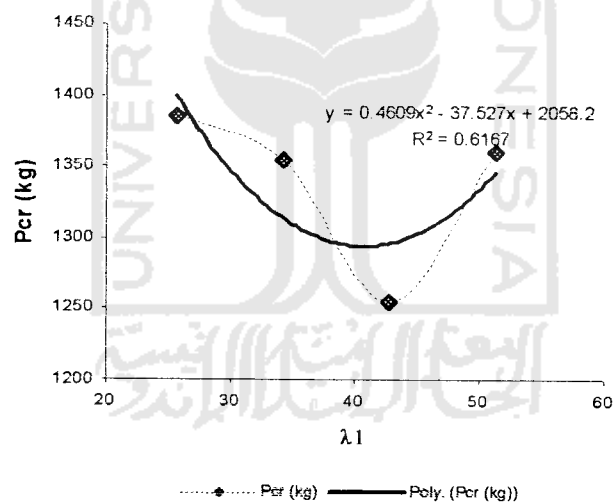
**Tabel 5.20** Kuat tekan profil *Lips Channal*

| No | Profil dengan pelat dasar |               |                      |                 | Profil tanpa pelat |                      |                 |
|----|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------|--------------------|----------------------|-----------------|
|    | $L_1/r_1$                 | $P_{cr}$ (kg) | $P_{cr}$ reg<br>(kg) | $F_{cr}$<br>Mpa | $P_{cr}$ (kg)      | $P_{cr}$ reg<br>(kg) | $F_{cr}$<br>Mpa |
| 1  | 25.660                    | 1385.000      | 1355.506             | 85.350          | 1385.000           | 1398.730             | 88.072          |
| 2  | 34.220                    | 1205.000      | 1303.049             | 82.047          | 1355.000           | 1313.744             | 82.720          |
| 3  | 42.770                    | 1385.000      | 1263.808             | 79.576          | 1255.000           | 1296.282             | 81.621          |
| 4  | 51.330                    | 1190.000      | 1232.590             | 77.610          | 1360.000           | 1346.304             | 84.770          |

Dari Tabel 5.20 dapat dibuat grafik hubungan  $L_1/r_1$  dengan  $F_{cr}$  seperti yang terlihat pada Gambar 5.17.a dan Gambar 5.17.b.



**Gambar 5.17.a** Grafik hubungan  $\lambda_1$  dan  $F_{cr}$  untuk benda uji profil *Lips Channal* dengan pelat



**Gambar 5.17.b** Grafik hubungan  $\lambda_1$  dan  $F_{cr}$  untuk benda uji profil *Lips Channal* tanpa pelat

### 3. Hasil pengujian sambungan las

Kekuatan las diuji dengan menggunakan 3 benda uji. Benda uji pertama memiliki panjang las 1cm dan beban maksimum 2345 kg, sehingga kekuatan las 2345 kg/cm. Benda uji kedua memiliki panjang las 1cm dan

beban maksimum 3280 kg, sehingga kekuatan las 3280 kg/cm. Benda uji ketiga mempunyai panjang las 1cm dan beban maksimum 2720 kg, sehingga kekuatan las 2720 kg/cm. Sehingga rerata kekuatan las adalah 2781,67 kg/cm. Tebal pelat benda uji adalah 3 mm, dengan proses SMAW diketahui tebal efektif ( $t_e$ ) adalah 2,121 mm ( $t_e=0,707.\alpha$ ).

### 5.2.2 Pembahasan kolom bentukan dingin

Pembahasan kolom bentukan dingin meliputi hubungan beban dan lendutan hasil penelitian, hubungan momen ( $M$ ) dan kelengkungan ( $\phi$ ), beban kritis hasil pengujian ( $P_{cr}$ ), tegangan kritis hasil pengujian ( $F_{cr}$ ), perhitungan koefisien tekuk pelat ( $k$ ), hitungan tegangan kritis teoritis dengan metode *Bleich* dan AISC dan perbandingan hitungan tegangan teoritis dengan hasil pengujian.

#### 5.2.2.1 Beban dan lendutan

Dari hasil pengujian tekan terhadap kolom tersusun silang ganda diperoleh hasil yang kurang realistis, karena data dimulai dari nilai 0. Hal tersebut dianggap tidak realistis karena pada saat alat diset beban sudah berjalan dan kolom sudah mengalami lendutan. Oleh karena itu data pengujian yang digunakan dimulai dari beban ( $P$ ) = 350 kg. Hasil pengujian yang telah direvisi disajikan dalam bentuk Tabel dan grafik hubungan beban lendutan berikut ini.

1. Kolom tersusun silang ganda yang dirangkai saling berhadapan (*front to front*).

Data hasil pengujian tekan kolom tersusun yang dirangkai saling berhadapan (*front to front*) yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.21 sampai dengan Tabel 5.28, kemudian data hasil pengujian yang telah direvisi ditampilkan dalam bentuk grafik yang seperti pada Gambar 5.18 sampai dengan Gambar 5.25.

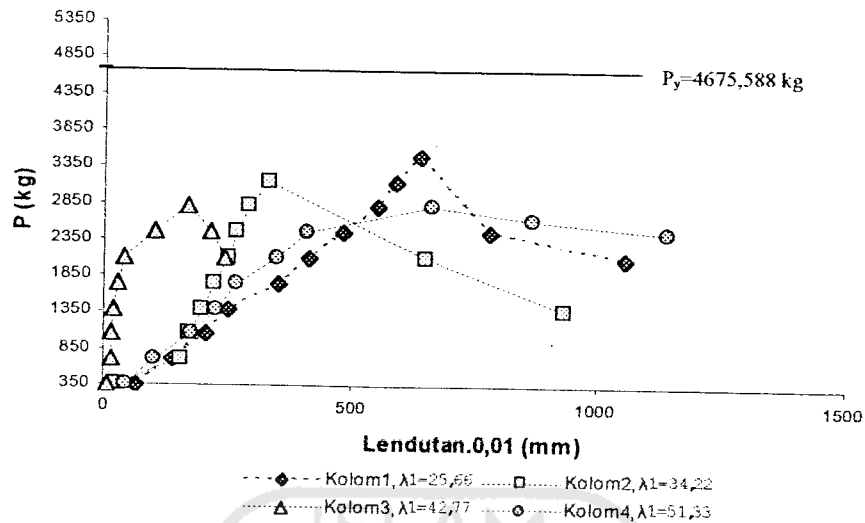
- a. Data hasil pengujian pada dial 1 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.21.

**Tabel 5.21** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 1 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 1 |                       |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kolom1,<br>$A_r=25,66$                      |                       | Kolom2,<br>$A_r=34,22$ |                       | Kolom3,<br>$A_r=42,77$ |                       | Kolom4,<br>$A_r=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                               | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 350   | 66                    | 350                    | 26                    | 350                    | 7                     | 350                    | 44                    |
| 700   | 139                   | 700                    | 155                   | 700                    | 16                    | 700                    | 101                   |
| 1050  | 205                   | 1050                   | 174                   | 1050                   | 16                    | 1050                   | 178                   |
| 1400  | 251                   | 1400                   | 198                   | 1400                   | 19                    | 1400                   | 224                   |
| 1750  | 352                   | 1750                   | 221                   | 1750                   | 28                    | 1750                   | 266                   |
| 2100  | 413                   | 2100                   | 248                   | 2100                   | 42                    | 2100                   | 348                   |
| 2450  | 483                   | 2450                   | 268                   | 2450                   | 102                   | 2450                   | 410                   |
| 2800  | 552                   | 2800                   | 292                   | 2800                   | 169                   | 2800                   | 663                   |
| 3150  | 590                   | 3150                   | 330                   | 2450                   | 212                   | 2625                   | 868                   |
| 3500  | 639                   | 2100                   | 650                   | 2100                   | 241                   | 2450                   | 1145                  |
| 2450  | 783                   | 1400                   | 933                   |                        |                       |                        |                       |
| 2100  | 1056                  |                        |                       |                        |                       |                        |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.21 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.18.





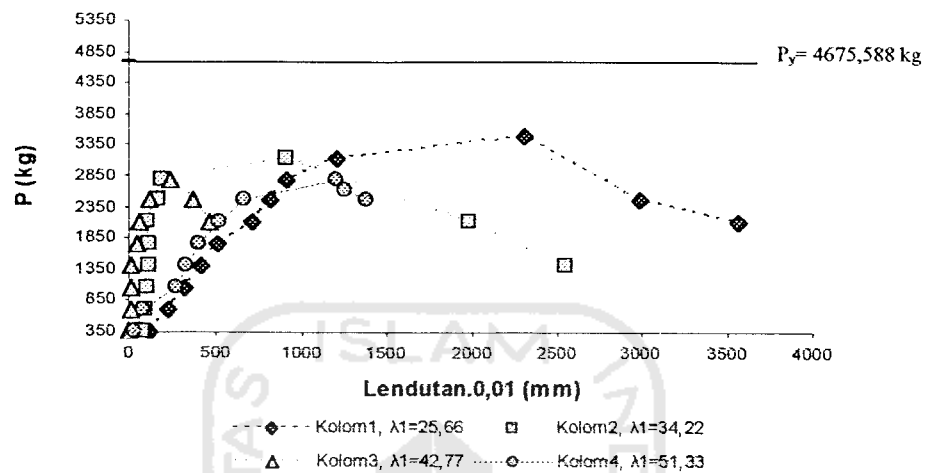
**Gambar 5.18** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 1 yang telah direvisi

- b. Data hasil pengujian pada dial 2 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.22.

**Tabel 5.22** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 2 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 2 |                       |                              |                       |                              |                       |                              |                       |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom1,<br>$\lambda_1=25,66$                |                       | Kolom2,<br>$\lambda_1=34,22$ |                       | Kolom3,<br>$\lambda_1=42,77$ |                       | Kolom4,<br>$\lambda_1=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                               | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 350   | 120                   | 350                          | 86                    | 350                          | 0                     | 350                          | 36                    |
| 700   | 222                   | 700                          | 90                    | 700                          | 11                    | 700                          | 87                    |
| 1050  | 319                   | 1050                         | 112                   | 1050                         | 12                    | 1050                         | 275                   |
| 1400  | 411                   | 1400                         | 114                   | 1400                         | 14                    | 1400                         | 334                   |
| 1750  | 512                   | 1750                         | 116                   | 1750                         | 48                    | 1750                         | 398                   |
| 2100  | 707                   | 2100                         | 105                   | 2100                         | 60                    | 2100                         | 516                   |
| 2450  | 815                   | 2450                         | 170                   | 2450                         | 121                   | 2450                         | 659                   |
| 2800  | 912                   | 2800                         | 187                   | 2800                         | 239                   | 2800                         | 1198                  |
| 3150  | 1202                  | 3150                         | 904                   | 2450                         | 366                   | 2625                         | 1256                  |
| 3500  | 2305                  | 2100                         | 1985                  | 2100                         | 464                   | 2450                         | 1375                  |
| 2450  | 2981                  | 1400                         | 2544                  |                              |                       |                              |                       |
| 2100  | 3558                  |                              |                       |                              |                       |                              |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.22 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.19.



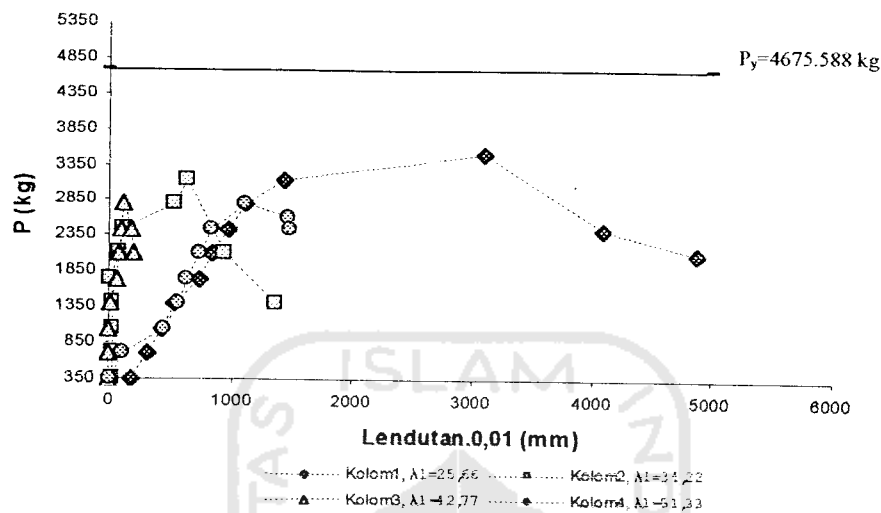
**Gambar 5.19** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 2 yang telah direvisi

- c. Data hasil pengujian pada dial 3 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.23 seperti berikut

**Tabel 5.23** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 3 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 3 |                         |                        |                         |                        |                         |                        |                         |
|---|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| Kolom1,<br>$A_1=25,66$                      |                         | Kolom2,<br>$A_1=34,22$ |                         | Kolom3,<br>$A_1=42,77$ |                         | Kolom4,<br>$A_1=51,33$ |                         |
| Beban<br>(kg)                               | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) |
| 350   | 180                     | 350                    | 26                      | 350                    | 0                       | 350                    | 13                      |
| 700   | 314                     | 700                    | 27                      | 700                    | 0                       | 700                    | 110                     |
| 1050  | 432                     | 1050                   | 31                      | 1050                   | 0                       | 1050                   | 457                     |
| 1400  | 538                     | 1400                   | 37                      | 1400                   | 14                      | 1400                   | 569                     |
| 1750  | 731                     | 1750                   | 15                      | 1750                   | 62                      | 1750                   | 637                     |
| 2100  | 844                     | 2100                   | 82                      | 2100                   | 84                      | 2100                   | 734                     |
| 2450  | 974                     | 2450                   | 123                     | 2450                   | 104                     | 2450                   | 845                     |
| 2800  | 1106                    | 2800                   | 536                     | 2800                   | 112                     | 2800                   | 1107                    |
| 3150  | 1419                    | 3150                   | 629                     | 2450                   | 189                     | 2625                   | 1465                    |
| 3500  | 3100                    | 2100                   | 935                     | 2100                   | 203                     | 2450                   | 1472                    |
| 2450  | 4094                    | 1400                   | 1355                    |                        |                         |                        |                         |
| 2100  | 4872                    |                        |                         |                        |                         |                        |                         |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.23 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.20.



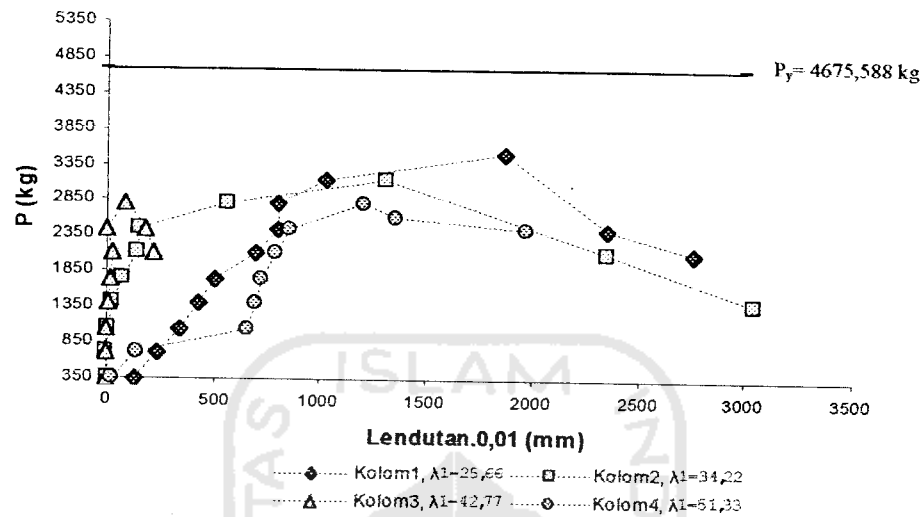
Gambar 5.20 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 3 yang telah direvisi

- d. Data hasil pengujian pada dial 4 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.24.

Tabel 5.24 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 4 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 4 |                       |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kolom1,<br>$A_1=25,66$                      |                       | Kolom2,<br>$A_1=34,22$ |                       | Kolom3,<br>$A_1=42,77$ |                       | Kolom4,<br>$A_1=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                               | $\Delta.0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta.0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta.0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta.0,01$<br>(mm) |
| 350   | 135                   | 350                    | 12                    | 350                    | 0                     | 350                    | 25                    |
| 700   | 241                   | 700                    | 0                     | 700                    | 0                     | 700                    | 147                   |
| 1050  | 337                   | 1050                   | 12                    | 1050                   | 1                     | 1050                   | 657                   |
| 1400  | 430                   | 1400                   | 31                    | 1400                   | 6                     | 1400                   | 691                   |
| 1750  | 501                   | 1750                   | 78                    | 1750                   | 18                    | 1750                   | 722                   |
| 2100  | 693                   | 2100                   | 139                   | 2100                   | 26                    | 2100                   | 783                   |
| 2450  | 796                   | 2450                   | 149                   | 2450                   | 2                     | 2450                   | 857                   |
| 2800  | 801                   | 2800                   | 557                   | 2800                   | 83                    | 2800                   | 1205                  |
| 3150  | 1028                  | 3150                   | 1311                  | 2450                   | 182                   | 2625                   | 1359                  |
| 3500  | 1868                  | 2100                   | 2350                  | 2100                   | 218                   | 2450                   | 1972                  |
| 2450  | 2350                  | 1400                   | 3040                  |                        |                       |                        |                       |
| 2100  | 2759                  |                        |                       |                        |                       |                        |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.24 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.21.



**Gambar 5.21** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 4 yang telah direvisi

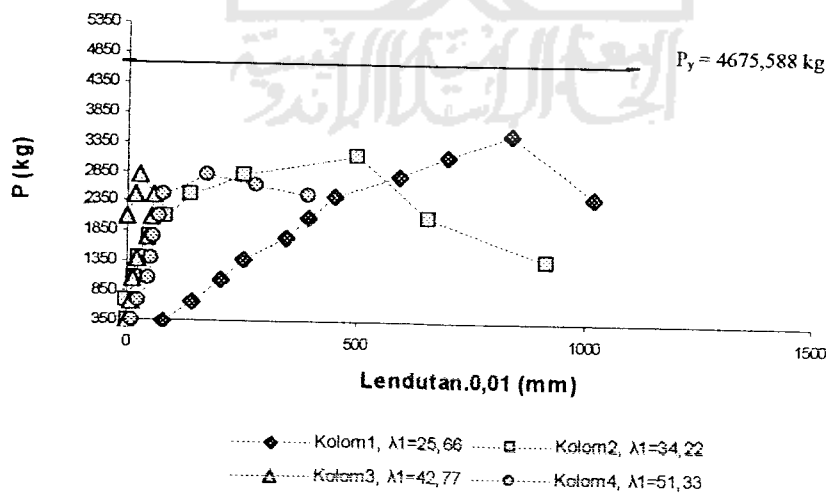
Dari Gambar 5.21 nampak bahwa grafik kolom 2 pada beban 700 kg dan kolom 3 pada beban 2450 kg mengalami penurunan lendutan.

- e. Data hasil pengujian pada dial 5 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.25.

Tabel 5.25 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 5 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL 5 |                       |                              |                       |                              |                       |                              |                       |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom1,<br>$\lambda_1=25,66$                |                       | Kolom2,<br>$\lambda_1=34,22$ |                       | Kolom3,<br>$\lambda_1=42,77$ |                       | Kolom4,<br>$\lambda_1=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                               | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 350   | 78                    | 350                          | 6                     | 350                          | 0                     | 350                          | 12                    |
| 700   | 140                   | 700                          | 0                     | 700                          | 10                    | 700                          | 27                    |
| 1050  | 204                   | 1050                         | 17                    | 1050                         | 13                    | 1050                         | 48                    |
| 1400  | 250                   | 1400                         | 27                    | 1400                         | 20                    | 1400                         | 54                    |
| 1750  | 343                   | 1750                         | 49                    | 1750                         | 46                    | 1750                         | 59                    |
| 2100  | 394                   | 2100                         | 84                    | 2100                         | 55                    | 2100                         | 71                    |
| 2450  | 448                   | 2450                         | 138                   | 2450                         | 56                    | 2450                         | 80                    |
| 2800  | 591                   | 2800                         | 252                   | 2800                         | 25                    | 2800                         | 173                   |
| 3150  | 699                   | 3150                         | 499                   | 2450                         | 19                    | 2625                         | 277                   |
| 3500  | 838                   | 2100                         | 657                   | 2100                         | 1                     | 2450                         | 393                   |
| 2450  | 1017                  | 1400                         | 916                   |                              |                       |                              |                       |
| 2100  | 1159                  |                              |                       |                              |                       |                              |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.25 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.22.



Gambar 5.22 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial 5 yang telah direvisi

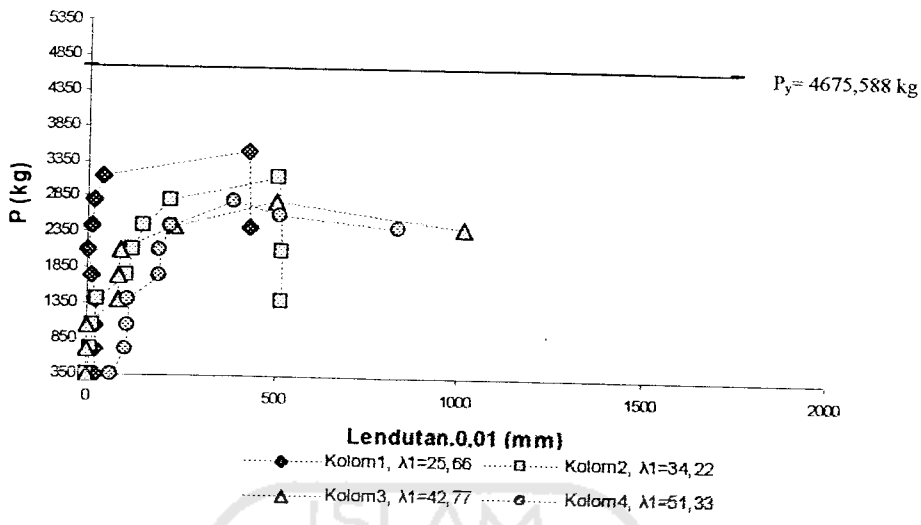
Pada Gambar 5.22 nampak bahwa grafik kolom 2 mengalami penurunan lendutan pada beban setelah beban 700 kg.

- f. Data hasil pengujian pada dial A yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.26.

**Tabel 5.26** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial A yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL A |                       |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kolom1,<br>$A_f=25,66$                      |                       | Kolom2,<br>$A_f=34,22$ |                       | Kolom3,<br>$A_f=42,77$ |                       | Kolom4,<br>$A_f=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                               | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 0   | 0                     | 0                      | 0                     | 0                      | 0                     | 0                      | 0                     |
| 350   | 21                    | 350                    | 2                     | 350                    | 0                     | 350                    | 65                    |
| 700   | 21                    | 700                    | 10                    | 700                    | 0                     | 700                    | 103                   |
| 1050  | 22                    | 1050                   | 15                    | 1050                   | 0                     | 1050                   | 107                   |
| 1400  | 22                    | 1400                   | 29                    | 1400                   | 85                    | 1400                   | 112                   |
| 1750  | 12                    | 1750                   | 105                   | 1750                   | 84                    | 1750                   | 190                   |
| 2100  | 1                     | 2100                   | 120                   | 2100                   | 85                    | 2100                   | 193                   |
| 2450  | 9                     | 2450                   | 145                   | 2450                   | 232                   | 2450                   | 219                   |
| 2800  | 18                    | 2800                   | 220                   | 2800                   | 503                   | 2800                   | 389                   |
| 3150  | 40                    | 3150                   | 510                   | 2450                   | 1015                  | 2625                   | 512                   |
| 3500  | 425                   | 2100                   | 518                   | 2100                   | 1800                  | 2450                   | 836                   |
| 2450  | 432                   | 1400                   | 518                   |                        |                       |                        |                       |
| 2100  | 439                   |                        |                       |                        |                       |                        |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.26 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.23.



Gambar 5.23 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial A yang telah direvisi

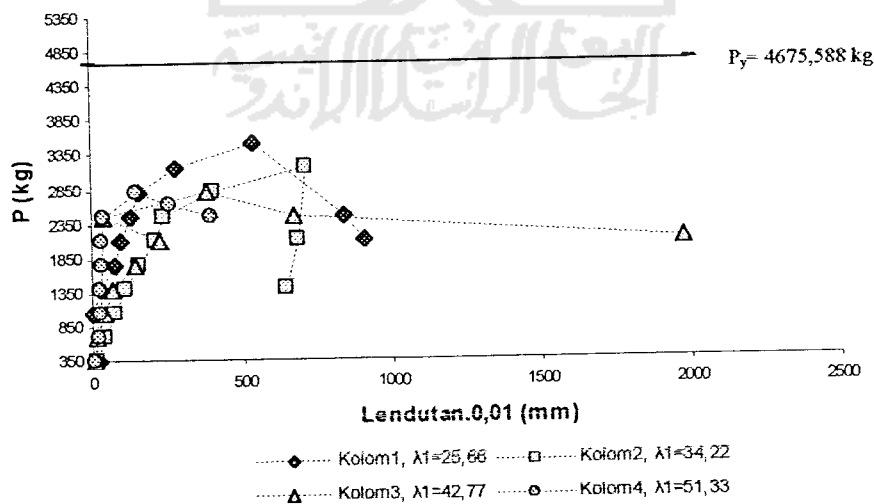
Dari Gambar 5.23 nampak bahwa grafik kolom 1 dan kolom 3 mengalami penurunan lendutan pada beban 1750 kg.

g. Data hasil pengujian pada dial B yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.27.

Tabel 5.27 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial B yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL B |                       |                              |                       |                              |                       |                              |                       |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom1,<br>$\lambda_1=25,66$                |                       | Kolom2,<br>$\lambda_1=34,22$ |                       | Kolom3,<br>$\lambda_1=42,77$ |                       | Kolom4,<br>$\lambda_1=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                               | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 350   | 21                    | 350                          | 12                    | 350                          | 10                    | 350                          | 10                    |
| 700   | 25                    | 700                          | 40                    | 700                          | 16                    | 700                          | 17                    |
| 1050  | 3                     | 1050                         | 72                    | 1050                         | 40                    | 1050                         | 24                    |
| 1400  | 24                    | 1400                         | 105                   | 1400                         | 70                    | 1400                         | 30                    |
| 1750  | 75                    | 1750                         | 153                   | 1750                         | 142                   | 1750                         | 34                    |
| 2100  | 95                    | 2100                         | 210                   | 2100                         | 224                   | 2100                         | 32                    |
| 2450  | 126                   | 2450                         | 235                   | 2450                         | 40                    | 2450                         | 42                    |
| 2800  | 157                   | 2800                         | 402                   | 2800                         | 380                   | 2800                         | 152                   |
| 3150  | 278                   | 3150                         | 710                   | 2450                         | 670                   | 2625                         | 260                   |
| 3500  | 536                   | 2100                         | 683                   | 2100                         | 1975                  | 2450                         | 395                   |
| 2450  | 835                   | 1400                         | 643                   |                              |                       |                              |                       |
| 2100  | 907                   |                              |                       |                              |                       |                              |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.27 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.24.



Gambar 5.24 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial B yang telah direvisi

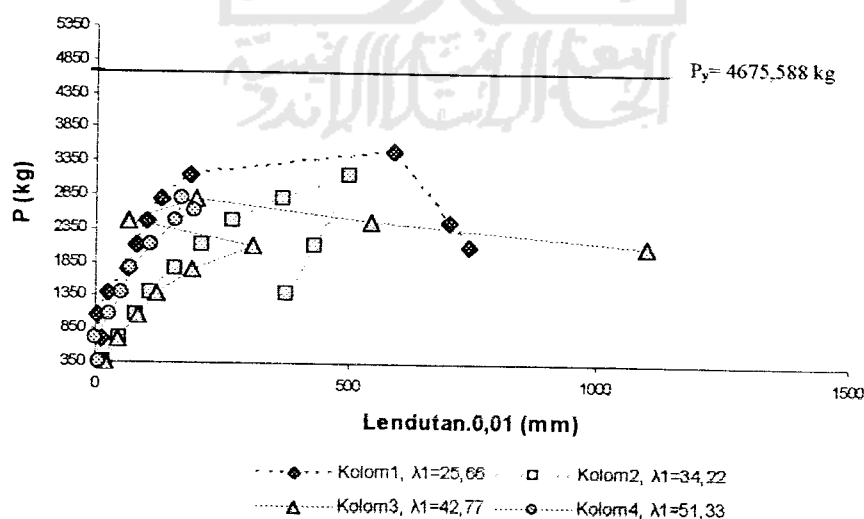


h. Data hasil pengujian pada dial C yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.28.

**Tabel 5.28** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial C yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN FRONT TO FRONT PADA DIAL C |                       |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kolom1,<br>$A_1=25,66$                      |                       | Kolom2,<br>$A_1=34,22$ |                       | Kolom3,<br>$A_1=42,77$ |                       | Kolom4,<br>$A_1=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                               | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 350   | 18                    | 350                    | 16                    | 350                    | 22                    | 350                    | 8                     |
| 700   | 12                    | 700                    | 49                    | 700                    | 43                    | 700                    | 2                     |
| 1050  | 5                     | 1050                   | 82                    | 1050                   | 85                    | 1050                   | 28                    |
| 1400  | 25                    | 1400                   | 110                   | 1400                   | 119                   | 1400                   | 51                    |
| 1750  | 66                    | 1750                   | 155                   | 1750                   | 190                   | 1750                   | 70                    |
| 2100  | 81                    | 2100                   | 207                   | 2100                   | 308                   | 2100                   | 110                   |
| 2450  | 102                   | 2450                   | 270                   | 2450                   | 65                    | 2450                   | 155                   |
| 2800  | 130                   | 2800                   | 370                   | 2800                   | 198                   | 2800                   | 170                   |
| 3150  | 186                   | 3150                   | 503                   | 2450                   | 545                   | 2625                   | 192                   |
| 3500  | 590                   | 2100                   | 433                   | 2100                   | 1098                  | 2450                   | 155                   |
| 2450  | 700                   | 1400                   | 376                   |                        |                       |                        |                       |
| 2100  | 740                   |                        |                       |                        |                       |                        |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.28 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.25.



**Gambar 5.25** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Front to Front* pada dial C yang telah direvisi

Dari Gambar 5.25 nampak bahwa grafik kolom 3 mengalami penurunan lendutan pada beban 2450 kg.

2. Kolom tersusun silang ganda yang dirancang saling membelakangi (*back to back*)

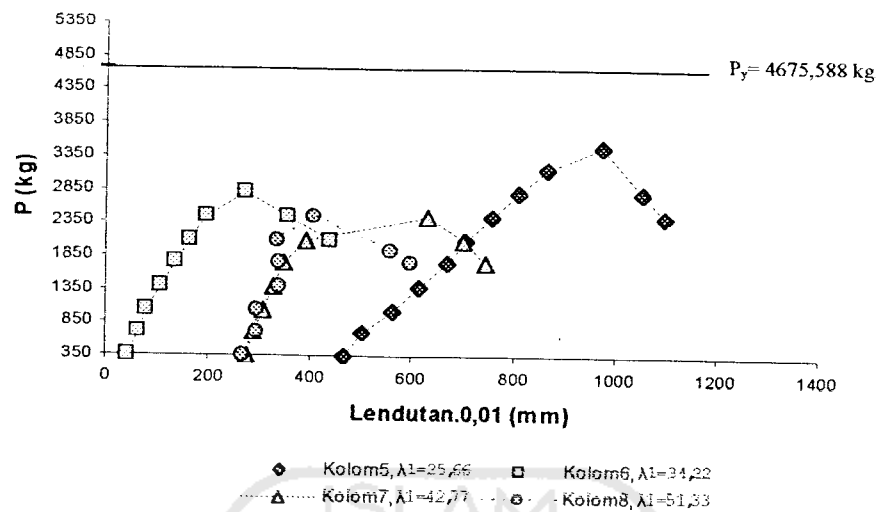
Data hasil pengujian tekan kolom tersusun yang dirangkai saling berhadapan (*front to front*) yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.29 sampai dengan Tabel 5.36. Dari data hasil pengujian yang telah direvisi ditampilkan dalam bentuk grafik yang seperti pada Gambar 5.26 sampai dengan Gambar 5.31.

- a. Data hasil pengujian dial 1 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.29.

**Tabel 5.29** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 1 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 1 |                    |                        |                    |                        |                    |                        |                    |
|---|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| Kolom5,<br>$A_f=25,66$                    |                    | Kolom6,<br>$A_f=34,22$ |                    | Kolom7,<br>$A_f=42,77$ |                    | Kolom8,<br>$A_f=51,33$ |                    |
| Beban (kg)                                | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg)             | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg)             | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg)             | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 350                                       | 467                | 350                    | 43                 | 350                    | 274                | 350                    | 268                |
| 700                                       | 503                | 700                    | 64                 | 700                    | 289                | 700                    | 294                |
| 1050                                      | 564                | 1050                   | 79                 | 1050                   | 307                | 1050                   | 295                |
| 1400                                      | 613                | 1400                   | 109                | 1400                   | 328                | 1400                   | 340                |
| 1750                                      | 671                | 1750                   | 134                | 1750                   | 346                | 1750                   | 341                |
| 2100                                      | 706                | 2100                   | 164                | 2100                   | 389                | 2100                   | 335                |
| 2450                                      | 757                | 2450                   | 196                | 2450                   | 631                | 2450                   | 408                |
| 2800                                      | 808                | 2800                   | 272                | 2100                   | 700                | 1925                   | 558                |
| 3150                                      | 866                | 2450                   | 356                | 1750                   | 745                | 1750                   | 600                |
| 3500                                      | 975                | 2100                   | 437                |                        |                    |                        |                    |
| 2800                                      | 1053               |                        |                    |                        |                    |                        |                    |
| 2450                                      | 1096               |                        |                    |                        |                    |                        |                    |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.29 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.26.



**Gambar 5.26** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 1 yang telah direvisi

Pada Gambar 5.26 nampak bahwa kolom 8 mengalami penurunan lendutan pada beban 2100 kg.

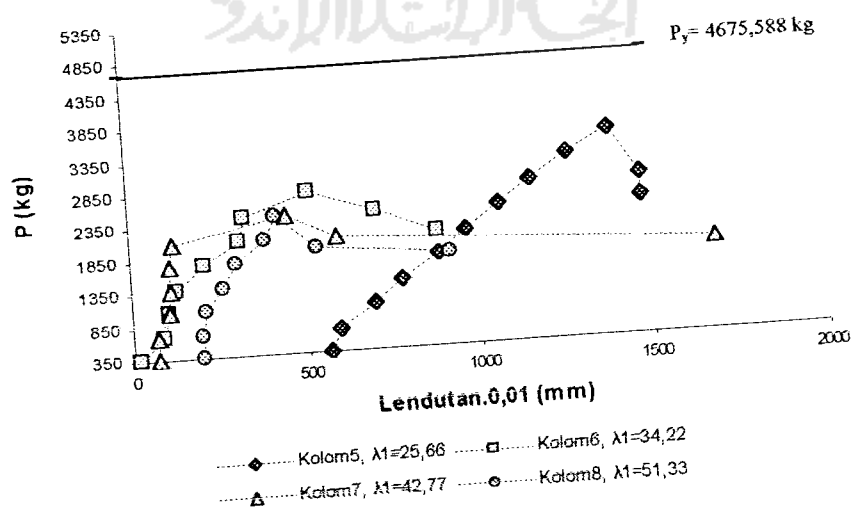
b. Data hasil pengujian pada dial 2 yang telah direvisi disajikan dalam

Tabel 5.30.

Tabel 5.30 Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 2 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 2 |                       |                              |                       |                              |                       |                              |                       |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom6,<br>$\lambda_1=25,66$              |                       | Kolom6,<br>$\lambda_1=34,22$ |                       | Kolom7,<br>$\lambda_1=42,77$ |                       | Kolom8,<br>$\lambda_1=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                             | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 350                                       | 566                   | 350                          | 15                    | 350                          | 71                    | 350                          | 194                   |
| 700                                       | 591                   | 700                          | 89                    | 700                          | 71                    | 700                          | 195                   |
| 1050                                      | 698                   | 1050                         | 103                   | 1050                         | 103                   | 1050                         | 208                   |
| 1400                                      | 778                   | 1400                         | 127                   | 1400                         | 108                   | 1400                         | 261                   |
| 1750                                      | 886                   | 1750                         | 205                   | 1750                         | 112                   | 1750                         | 300                   |
| 2100                                      | 971                   | 2100                         | 311                   | 2100                         | 123                   | 2100                         | 389                   |
| 2450                                      | 1066                  | 2450                         | 331                   | 2450                         | 450                   | 2450                         | 420                   |
| 2800                                      | 1157                  | 2800                         | 521                   | 2100                         | 596                   | 1925                         | 536                   |
| 3150                                      | 1266                  | 2450                         | 711                   | 1750                         | 1683                  | 1750                         | 921                   |
| 3500                                      | 1391                  | 2100                         | 885                   |                              |                       |                              |                       |
| 2800                                      | 1475                  |                              |                       |                              |                       |                              |                       |
| 2450                                      | 1476                  |                              |                       |                              |                       |                              |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.30 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.27.



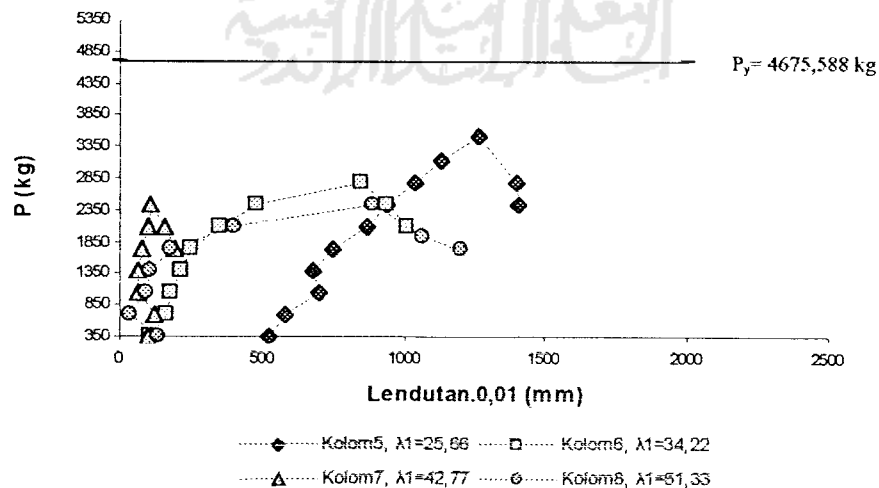
Gambar 5.27 Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 2 yang telah direvisi

- c. Data hasil pengujian pada dial 3 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.31.

**Tabel 5.31** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 3 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN <i>BACK TO BACK</i> PADA DIAL 3 |                         |                        |                         |                        |                         |                        |                         |
|--|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| Kolom5,<br>$A_1=25,66$                           |                         | Kolom6,<br>$A_1=34,22$ |                         | Kolom7,<br>$A_1=42,77$ |                         | Kolom8,<br>$A_1=51,33$ |                         |
| Beban<br>(kg)                                    | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) |
| 350  | 515                     | 350                    | 106                     | 350                    | 101                     | 350                    | 135                     |
| 700  | 574                     | 700                    | 160                     | 700                    | 121                     | 700                    | 36                      |
| 1050   | 698                     | 1050                   | 177                     | 1050                   | 63                      | 1050                   | 91                      |
| 1400   | 678                     | 1400                   | 213                     | 1400                   | 64                      | 1400                   | 106                     |
| 1750   | 746                     | 1750                   | 250                     | 1750                   | 76                      | 1750                   | 177                     |
| 2100   | 866                     | 2100                   | 345                     | 2100                   | 98                      | 2100                   | 396                     |
| 2450   | 935                     | 2450                   | 478                     | 2450                   | 104                     | 2450                   | 885                     |
| 2800   | 1034                    | 2800                   | 843                     | 2100                   | 157                     | 1925                   | 1068                    |
| 3150   | 1131                    | 2450                   | 940                     | 1750                   | 195                     | 1750                   | 1198                    |
| 3500   | 1264                    | 2100                   | 1011                    |                        |                         |                        |                         |
| 2800   | 1402                    |                        |                         |                        |                         |                        |                         |
| 2450   | 1405                    |                        |                         |                        |                         |                        |                         |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.31 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.28.



**Gambar 5.28** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 3 yang telah direvisi

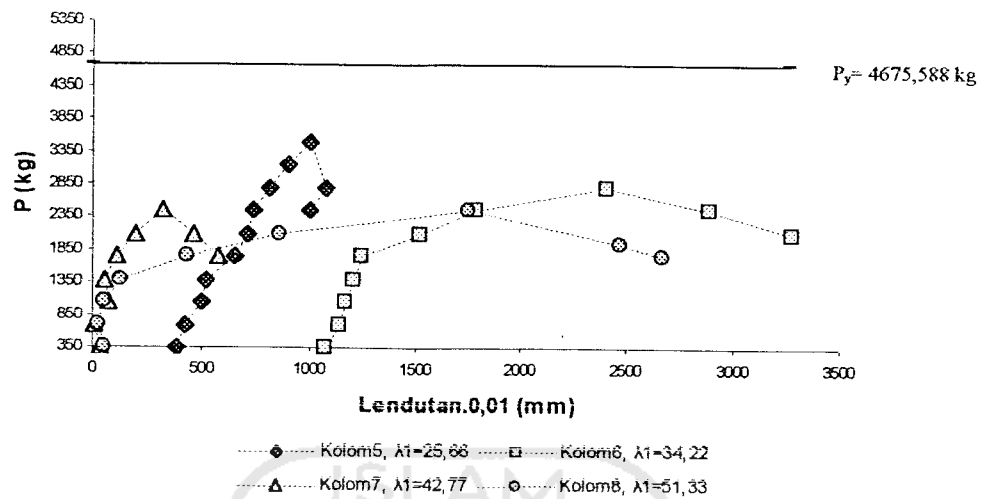
Dari Gambar 5.28 nampak bahwa grafik kolom 7 mengalami penurunan lendutan pada beban 1050 kg. Sedangkan grafik kolom 8 mengalami penurunan lendutan pada beban 700 kg.

- d. Data hasil pengujian pada dial 4 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.32.

**Tabel 5.32** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 4 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 4 |                       |                              |                       |                              |                       |                              |                       |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Kolom5,<br>$\lambda_r=25,66$              |                       | Kolom6,<br>$\lambda_r=34,22$ |                       | Kolom7,<br>$\lambda_r=42,77$ |                       | Kolom8,<br>$\lambda_r=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                             | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 350                                       | 385                   | 350                          | 1075                  | 350                          | 41                    | 350                          | 55                    |
| 700                                       | 429                   | 700                          | 1143                  | 700                          | 5                     | 700                          | 25                    |
| 1050                                      | 506                   | 1050                         | 1171                  | 1050                         | 76                    | 1050                         | 53                    |
| 1400                                      | 523                   | 1400                         | 1214                  | 1400                         | 60                    | 1400                         | 133                   |
| 1750                                      | 657                   | 1750                         | 1247                  | 1750                         | 109                   | 1750                         | 432                   |
| 2100                                      | 714                   | 2100                         | 1527                  | 2100                         | 198                   | 2100                         | 865                   |
| 2450                                      | 736                   | 2450                         | 1787                  | 2450                         | 318                   | 2450                         | 1749                  |
| 2800                                      | 811                   | 2800                         | 2404                  | 2100                         | 463                   | 1925                         | 2467                  |
| 3150                                      | 896                   | 2450                         | 2886                  | 1750                         | 578                   | 1750                         | 2667                  |
| 3500                                      | 1004                  | 2100                         | 3270                  |                              |                       |                              |                       |
| 2800                                      | 1080                  |                              |                       |                              |                       |                              |                       |
| 2450                                      | 1007                  |                              |                       |                              |                       |                              |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.32 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.29.



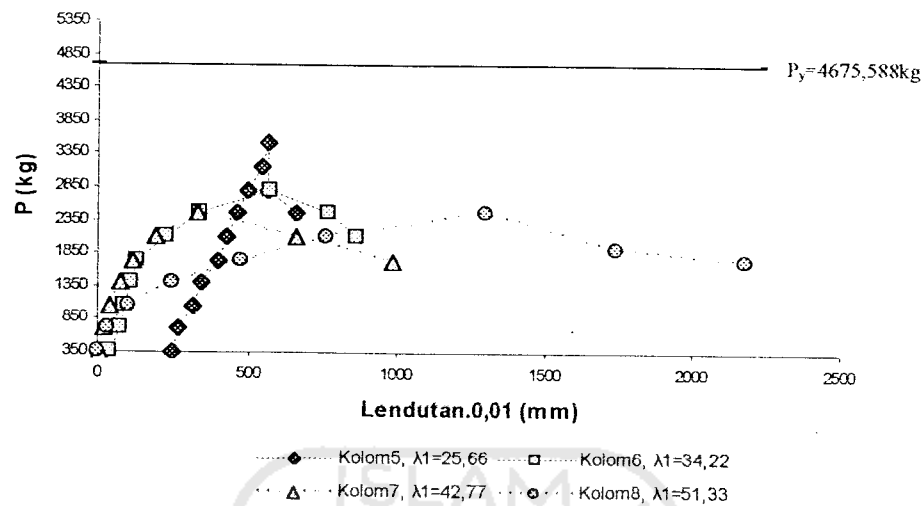
**Gambar 5.29** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 4 yang telah direvisi

- e. Data hasil pengujian pada dial 5 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.33.

**Tabel 5.33** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 5 yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL 5 |                    |                        |                    |                        |                    |                        |                    |
|---|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| Kolom5,<br>$A_1=25,66$                    |                    | Kolom6,<br>$A_1=34,22$ |                    | Kolom7,<br>$A_1=42,77$ |                    | Kolom8,<br>$A_1=51,33$ |                    |
| Beban (kg)                                | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg)             | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg)             | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg)             | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 350                                       | 245                | 350                    | 39                 | 350                    | 7                  | 350                    | 1                  |
| 700                                       | 269                | 700                    | 74                 | 700                    | 20                 | 700                    | 31                 |
| 1050                                      | 312                | 1050                   | 89                 | 1050                   | 41                 | 1050                   | 102                |
| 1400                                      | 342                | 1400                   | 110                | 1400                   | 73                 | 1400                   | 246                |
| 1750                                      | 394                | 1750                   | 133                | 1750                   | 114                | 1750                   | 473                |
| 2100                                      | 426                | 2100                   | 225                | 2100                   | 190                | 2100                   | 781                |
| 2450                                      | 458                | 2450                   | 332                | 2450                   | 328                | 2450                   | 1295               |
| 2800                                      | 495                | 2800                   | 567                | 2100                   | 657                | 1925                   | 1745               |
| 3150                                      | 538                | 2450                   | 766                | 1750                   | 986                | 1750                   | 2180               |
| 3500                                      | 559                | 2100                   | 863                |                        |                    |                        |                    |
| 2800                                      | 562                |                        |                    |                        |                    |                        |                    |
| 2450                                      | 656                |                        |                    |                        |                    |                        |                    |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.33 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.30.



**Gambar 5.30** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial 5 yang telah direvisi

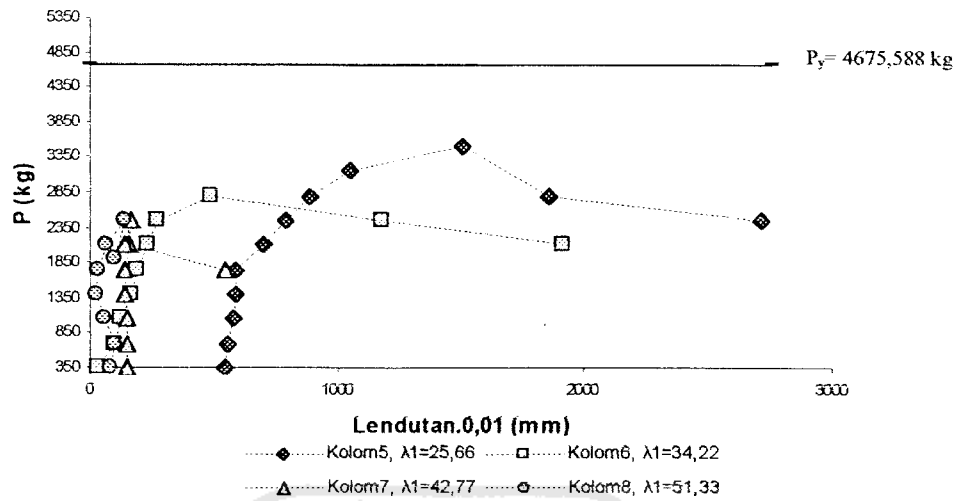
- f. Data hasil pengujian pada dial 5 yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.34.

**Tabel 5.34** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial A yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL A |                       |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Kolom5,<br>$A_1=25,66$                    |                       | Kolom6,<br>$A_1=34,22$ |                       | Kolom7,<br>$A_1=42,77$ |                       | Kolom8,<br>$A_1=51,33$ |                       |
| Beban<br>(kg)                             | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) | Beban<br>(kg)          | $\Delta 0,01$<br>(mm) |
| 350                                       | 542                   | 350                    | 37                    | 350                    | 147                   | 350                    | 80                    |
| 700                                       | 547                   | 700                    | 97                    | 700                    | 147                   | 700                    | 99                    |
| 1050                                      | 570                   | 1050                   | 122                   | 1050                   | 147                   | 1050                   | 56                    |
| 1400                                      | 586                   | 1400                   | 160                   | 1400                   | 142                   | 1400                   | 21                    |
| 1750                                      | 580                   | 1750                   | 191                   | 1750                   | 143                   | 1750                   | 34                    |
| 2100                                      | 693                   | 2100                   | 230                   | 2100                   | 157                   | 2100                   | 64                    |
| 2450                                      | 788                   | 2450                   | 274                   | 2450                   | 166                   | 2450                   | 136                   |
| 2800                                      | 885                   | 2800                   | 487                   | 2100                   | 138                   | 1925                   | 97                    |
| 3150                                      | 1050                  | 2450                   | 1180                  | 1750                   | 542                   | 1750                   | 36                    |
| 3500                                      | 1510                  | 2100                   | 1917                  |                        |                       |                        |                       |
| 2800                                      | 1860                  |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
| 2450                                      | 2710                  |                        |                       |                        |                       |                        |                       |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.34 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.31.





**Gambar 5.31** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial A yang telah direvisi

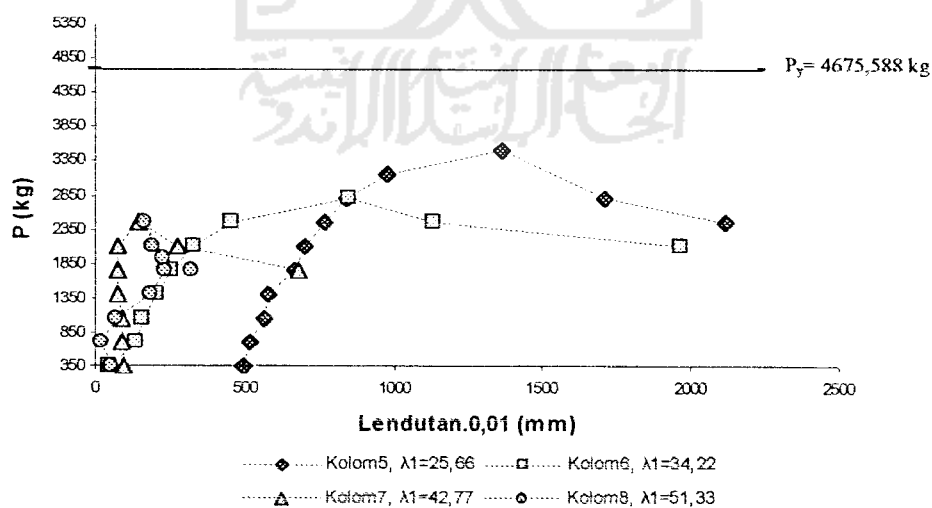
Dari Gambar 5.31 nampak bahwa grafik kolom 7 mengalami penurunan lendutan pada beban 1400 kg. Sedangkan grafik kolom 8 mengalami penurunan lendutan pada beban 1050

g. Data hasil pengujian pada dial B yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.35.

**Tabel 5.35** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial B yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN <i>BACK TO BACK</i> PADA DIAL B |                    |                              |                    |                              |                    |                              |                    |
|--|--------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|
| Kolom5,<br>$\lambda_1=25,66$                     |                    | Kolom6,<br>$\lambda_1=34,22$ |                    | Kolom7,<br>$\lambda_1=42,77$ |                    | Kolom8,<br>$\lambda_1=51,33$ |                    |
| Beban (kg)                                       | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg)                   | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg)                   | $\Delta 0,01$ (mm) | Beban (kg)                   | $\Delta 0,01$ (mm) |
| 350  | 489                | 350                          | 48                 | 350                          | 94                 | 350                          | 57                 |
| 700  | 511                | 700                          | 136                | 700                          | 90                 | 700                          | 19                 |
| 1050   | 556                | 1050                         | 158                | 1050                         | 86                 | 1050                         | 66                 |
| 1400   | 574                | 1400                         | 207                | 1400                         | 73                 | 1400                         | 184                |
| 1750   | 662                | 1750                         | 251                | 1750                         | 77                 | 1750                         | 231                |
| 2100   | 694                | 2100                         | 329                | 2100                         | 77                 | 2100                         | 192                |
| 2450   | 761                | 2450                         | 451                | 2450                         | 146                | 2450                         | 163                |
| 2800   | 840                | 2800                         | 842                | 2100                         | 275                | 1925                         | 225                |
| 3150   | 974                | 2450                         | 1132               | 1750                         | 672                | 1750                         | 319                |
| 3500   | 1363               | 2100                         | 1971               |                              |                    |                              |                    |
| 2800   | 1708               |                              |                    |                              |                    |                              |                    |
| 2450   | 2119               |                              |                    |                              |                    |                              |                    |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.35 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.32.



**Gambar 5.32** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial B yang telah direvisi

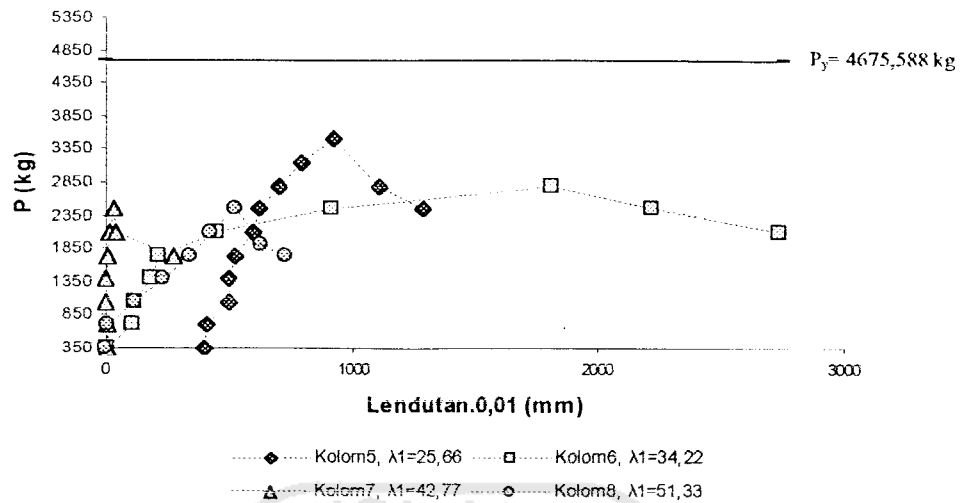
Dari Gambar 5.32 nampak bahwa grafik kolom 8 mengalami penurunan lendutan pada beban 700 kg,

- h. Data hasil pengujian pada dial C yang telah direvisi disajikan dalam Tabel 5.36.

**Tabel 5.36** Hubungan beban lendutan hasil pengujian kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial C yang telah direvisi

| BEBAN & LENDUTAN BACK TO BACK PADA DIAL C |                         |                              |                         |                              |                         |                              |                         |
|---|-------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Kolom5,<br>$\lambda_r=25,66$              |                         | Kolom6,<br>$\lambda_r=34,22$ |                         | Kolom7,<br>$\lambda_r=42,77$ |                         | Kolom8,<br>$\lambda_r=51,33$ |                         |
| Beban<br>(kg)                             | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) | Beban<br>(kg)                | $\Delta_{0,01}$<br>(mm) |
| 350                                       | 397                     | 350                          | 9                       | 350                          | 9                       | 350                          | 2                       |
| 700                                       | 400                     | 700                          | 103                     | 700                          | 8                       | 700                          | 12                      |
| 1050                                      | 490                     | 1050                         | 113                     | 1050                         | 3                       | 1050                         | 112                     |
| 1400                                      | 491                     | 1400                         | 182                     | 1400                         | 4                       | 1400                         | 230                     |
| 1750                                      | 520                     | 1750                         | 214                     | 1750                         | 9                       | 1750                         | 338                     |
| 2100                                      | 591                     | 2100                         | 443                     | 2100                         | 17                      | 2100                         | 419                     |
| 2450                                      | 613                     | 2450                         | 908                     | 2450                         | 32                      | 2450                         | 517                     |
| 2800                                      | 695                     | 2800                         | 1809                    | 2100                         | 39                      | 1925                         | 627                     |
| 3150                                      | 790                     | 2450                         | 2222                    | 1750                         | 274                     | 1750                         | 725                     |
| 3500                                      | 914                     | 2100                         | 2740                    |                              |                         |                              |                         |
| 2800                                      | 1110                    |                              |                         |                              |                         |                              |                         |
| 2450                                      | 1290                    |                              |                         |                              |                         |                              |                         |

Dari data hubungan beban lendutan pada Tabel 5.36 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.33.

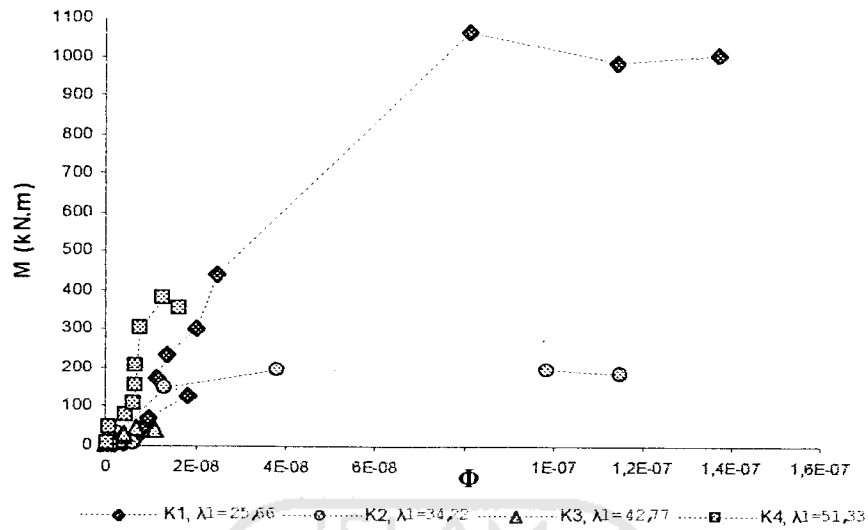


**Gambar 5.33** Grafik hubungan beban dan lendutan kolom tersusun silang ganda *Back to Back* pada dial C yang telah direvisi

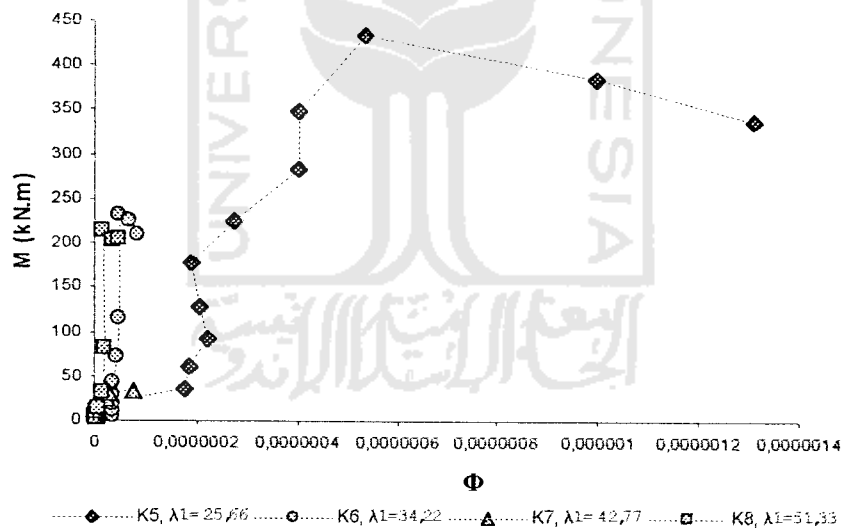
Dari Gambar 5.33 nampak bahwa grafik kolom 7 mengalami penurunan lendutan pada beban 700 kg.

### 5.2.2.2 Momen dan Kelengkungan

Dari hubungan beban dan lendutan diperoleh hubungan momen kelengkungan yang tersaji dalam Gambar 5.34 dan Gambar 5.35.

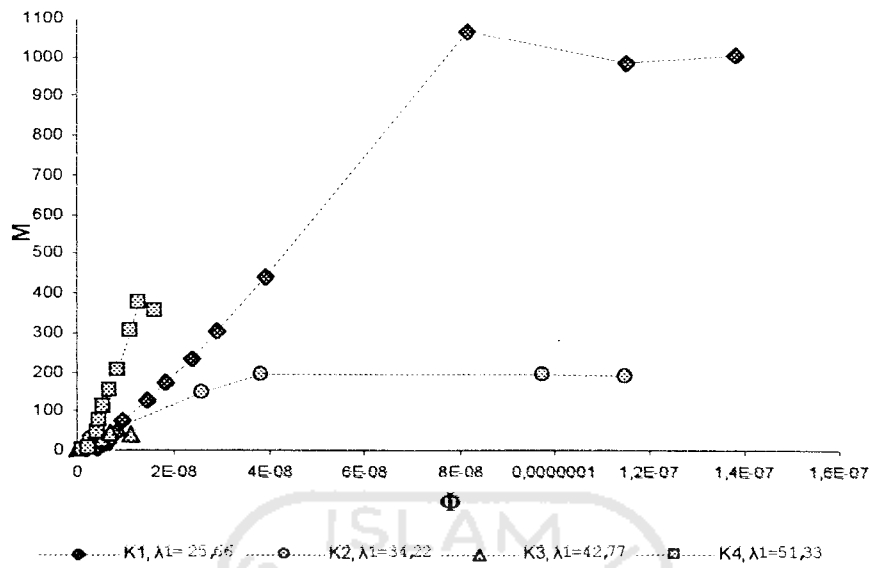


**Gambar 5.34** Grafik hubungan momen dan kelengkungan kolom tersusun *front to front*

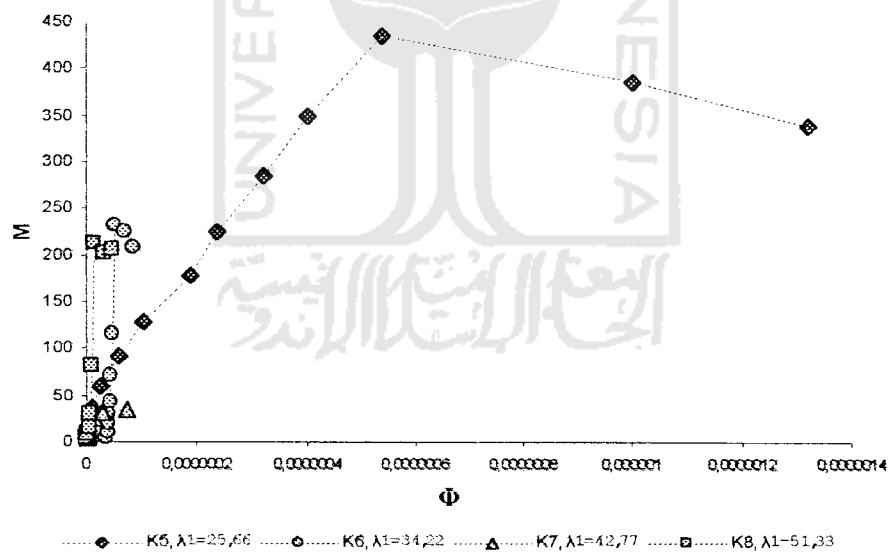


**Gambar 5.35** Grafik hubungan momen dan kelengkungan kolom tersusun *back to back*

Grafik momen dan kelengkungan kemudian diregresi yang disajikan dalam Gambar 5.36 dan Gambar 6.37.



**Gambar 5.36** Grafik momen dan kelengkungan hasil regresi untuk kolom tersusun *front to front*



**Gambar 5.37** Grafik momen dan kelengkungan hasil regresi untuk kolom tersusun *back to back*

Dari grafik hubungan momen dan kelengkungan hasil regresi yang ditunjukkan pada Gambar 5.36 dan Gambar 5.37 dapat dicari perilaku kolom

tersusun silang ganda. Perilaku tersebut meliputi nilai faktor kekakuan, kekuatan dan daktilitas kolom.

#### 1. Kekakuan

Hasil perhitungan nilai faktor kekakuan ditunjukkan pada Tabel 5.37.a dan Tabel 5.37.b.

**Tabel 5.37.a** Nilai faktor kekakuan untuk benda uji *front to front*

| Benda uji      | Momen    | Kelengkungan | $EI$              |
|----------------|----------|--------------|-------------------|
| Front to Front | (KN.m)   | (1/m)        | KN.m <sup>2</sup> |
| K1             | 73,88892 | 9,33254E-09  | 7917340422        |
| K2             | 29,56244 | 2,95121E-09  | 1,0017E+10        |
| K3             | 17,30484 | 3,31131E-09  | 5225978133        |
| K4             | 78,14646 | 4,57088E-09  | 1,7097E+10        |

Berdasarkan Tabel 5.37.a, benda uji kolom 4 dengan  $\lambda_1=51,33$  mempunyai angka kekakuan yang paling besar, hal ini menunjukkan bahwa kolom 4 merupakan kolom dengan kekakuan paling besar.

**Tabel 5.37.b** Nilai faktor kekakuan untuk benda uji *back to back*

| Benda uji    | Momen    | Kelengkungan | $EI$              |
|--------------|----------|--------------|-------------------|
| Back to Back | (KN.m)   | (1/m)        | KN.m <sup>2</sup> |
| K5           | 178,4047 | 1,86209E-07  | 958089750         |
| K6           | 71,07345 | 4,57088E-08  | 1554917664        |
| K7           | 20,18898 | 5,01187E-09  | 1028231097        |
| K8           | 14,55804 | 7,24436E-09  | 2009568934        |

Berdasarkan Tabel 5.37.b, benda uji kolom 8 dengan  $\lambda_1=51,33$  mempunyai angka kekakuan yang paling besar, hal ini menunjukkan bahwa kolom 8 merupakan kolom dengan kekakuan terbesar.

Dari Tabel 5.37.a dan Tabel 5.37.b dapat disimpulkan bahwa angka kekakuan kolom yang dirancang saling berhadapan (*front to front*) lebih besar

daripada angka kekakuan untuk kolom yang dirancang saling membelakangi (*back to back*).

## 2. Kekuatan

Dari grafik hubungan momen dan kelengkungan pada Gambar 5.36 dan Gambar 5.37 dapat diperoleh nilai momen maksimum masing-masing kolom yang disajikan dalam Tabel 5.38.

**Tabel 5.38** Momen maksimum kolom tersusun silang ganda

| Benda uji      | Momen    | Benda uji    | Momen      |
|----------------|----------|--------------|------------|
| Front to Front | (KN.m)   | Back to Back | (KN.m)     |
| K1             | 1064,385 | K5           | 433,9944   |
| K2             | 194,3704 | K6           | 231,55524  |
| K3             | 45,425   | K7           | 33,476625  |
| K4             | 377,2558 | K8           | 212,705325 |

Berdasarkan Tabel 5.38 nampak bahwa kolom dengan kekuatan paling besar adalah kolom dengan  $\lambda_1 = 25,66$ . Selain itu dari Tabel 5.38 juga dapat disimpulkan bahwa kolom *front to front* lebih kuat dari pada kolom *back to back*.

## 3. Daktilitas (keliatan)

Berdasarkan Grafik hubungan momen dan kelengkungan pada Gambar 5.36 dan Gambar 5.37 dapat diperoleh nilai daktilitas bagi kolom tersusun silang ganda yang disajikan dalam Tabel 5.39.a dan Tabel 5.39.b.

**Tabel 5.39.a** Nilai daktilitas untuk benda uji *front to front*

| Benda uji      | $\Phi_{maks}$ | $\Phi_y$ | $\mu$    |
|----------------|---------------|----------|----------|
| Front to Front | (1/m)         | (1/m)    |          |
| K1             | 1,38E-07      | 8,13E-08 | 1,698244 |
| K2             | 1,15E-07      | 3,8E-08  | 3,019952 |
| K3             | 1,1E-08       | 6,76E-09 | 1,62181  |
| K4             | 1,62E-08      | 1,26E-08 | 1,28825  |



Berdasarkan Tabel 5.39.a nampak bahwa kolom 2 dengan  $\lambda_1 = 34,22$  mempunyai daktilitas paling tinggi dibanding dengan benda uji kolom *front to front* yang lain.

**Tabel 5.39.b** Nilai daktilitas untuk benda uji *back to back*

| Benda uji    | $\Phi_{maks}$ | $\Phi_y$ | $\mu$    |
|--------------|---------------|----------|----------|
| Back to Back | (1/m)         | (1/m)    |          |
| K5           | 1,32E-06      | 5,37E-07 | 2,454709 |
| K6           | 8,51E-08      | 5,01E-08 | 1,698244 |
| K7           | 7,41E-08      | 2,95E-08 | 2,511886 |
| K8           | 4,79E-08      | 1,58E-08 | 3,019952 |

Berdasarkan Tabel 5.39.b nampak bahwa kolom 8 dengan  $\lambda_1 = 51,33$  mempunyai daktilitas paling tinggi dibanding dengan benda uji kolom *back to back* yang lain.

Dari Tabel 5.39.a dan Tabel 5.39.b dapat disimpulkan bahwa kolom tersusun yang dirancang saling membelakangi lebih daktil dibandingkan dengan kolom tersusun yang dirancang saling berhadapan.

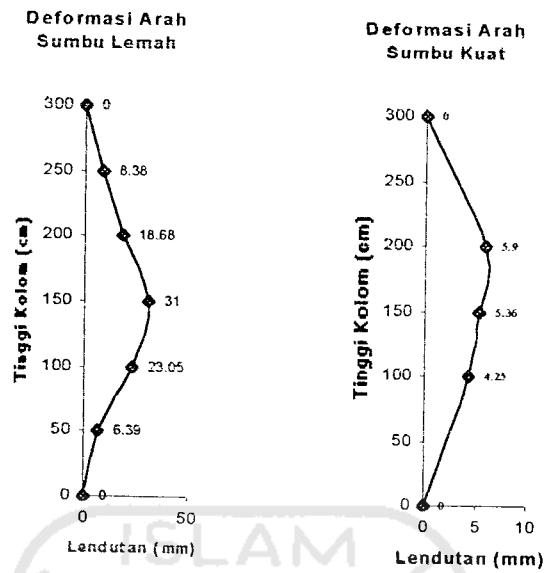
### 5.2.2.3 Beban kritis ( $P_{cr}$ )

Beban Kritis ( $P_{cr}$ ) yang terjadi pada masing-masing kolom dan bentuk deformasi kolom pada saat terjadi beban kritis ( $P_{cr}$ ) ditentukan berdasarkan hasil pengujian (Tabel 5.3 sampai dengan Tabel 5.18). Beban kritis ( $P_{cr}$ ) yang terjadi pada masing-masing kolom ditampilkan pada Tabel 5.40.

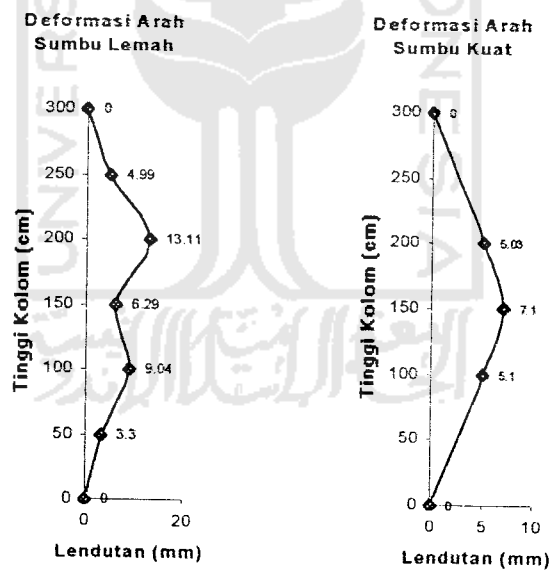
**Tabel 5.40** Beban kritis ( $P_{cr}$ ) kolom

| No | Sampel   | $L_f/r_f$ | $P_{cr}$<br>(kg) |
|----|--|-----------|------------------|
| 1  | Sampel 1, $L_f=30$ cm<br><i>front to front</i> | 25,66     | 3500             |
| 2  | Sampel 2, $L_f=40$ cm<br><i>front to front</i> | 34,22     | 3150             |
| 3  | Sampel 3, $L_f=50$ cm<br><i>front to front</i> | 42,77     | 2800             |
| 4  | Sampel 4, $L_f=60$ cm<br><i>front to front</i> | 51,33     | 2800             |
| 5  | Sampel 5, $L_f=30$ cm<br><i>back to back</i>   | 25,66     | 3500             |
| 6  | Sampel 6, $L_f=40$ cm<br><i>back to back</i>   | 34,22     | 2800             |
| 7  | Sampel 7, $L_f=50$ cm<br><i>back to back</i>   | 42,77     | 2450             |
| 8  | Sampel 8, $L_f=60$ cm<br><i>back to back</i>   | 51,33     | 2450             |

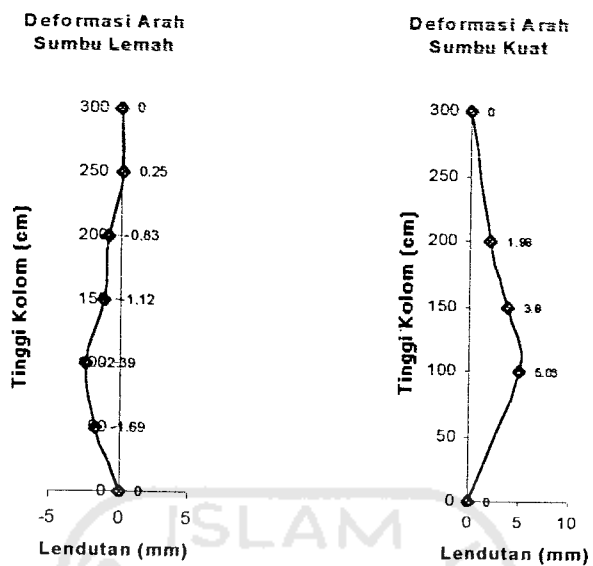
Pada saat terjadi beban kritis ( $P_{cr}$ ) bentuk deformasi kolom dapat ditentukan dengan cara memilih defleksi yang terbaca pada masing-masing dial pada saat terjadi beban kritis kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga dapat dilihat bentuk deformasi kolom. Bentuk deformasi kolom dapat dilihat pada Gambar 5.38 sampai Gambar 5.45.



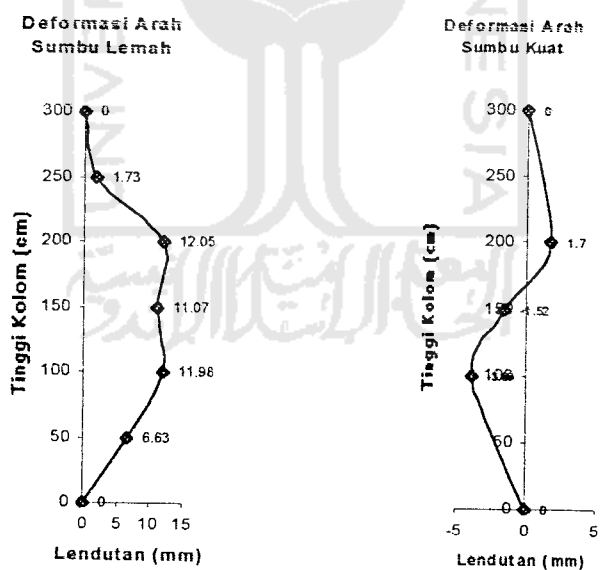
Gambar 5.38 Deformasi sampel kolom 1,  $\lambda_1 = 25,66$  FF pada saat kritis



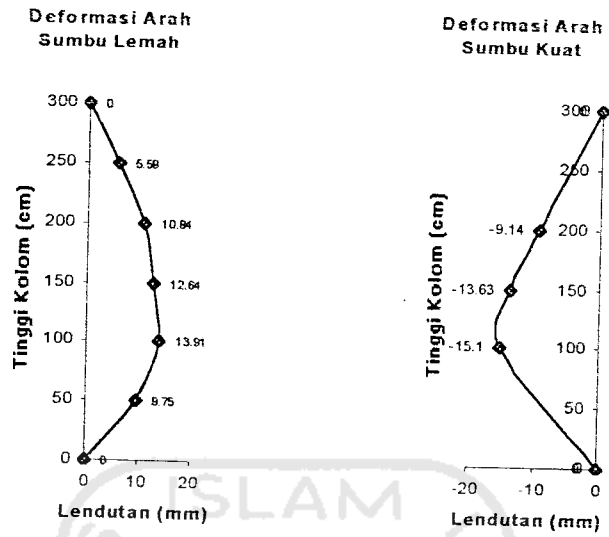
Gambar 5.39 Deformasi sampel kolom 2,  $\lambda_1 = 34,22$  FF pada saat kritis



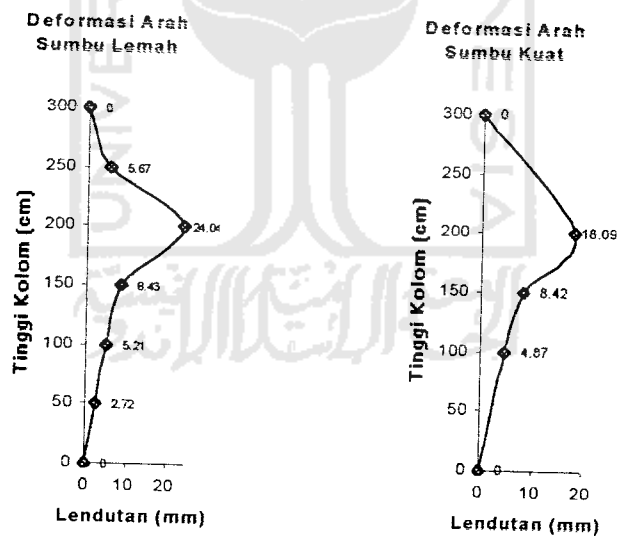
Gambar 5.40 Deformasi sampel kolom 3,  $\lambda_1 = 42,77$  FF pada saat kritis



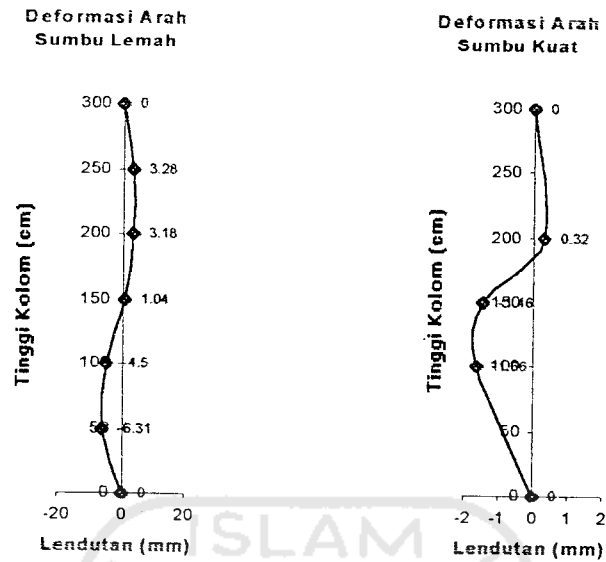
Gambar 5.41 Deformasi sampel kolom 4,  $\lambda_1 = 51,33$  FF pada saat kritis



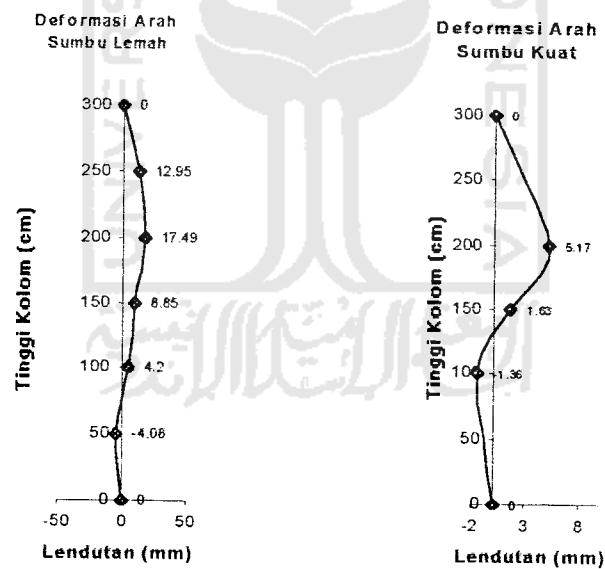
Gambar 5.42 Deformasi sampel kolom 5,  $\lambda_1=25,66$  BB pada saat kritis



Gambar 5.43 Deformasi sampel kolom 6,  $\lambda_1=34,22$  BB pada saat kritis



Gambar 5.44 Deformasi sampel kolom 7,  $\lambda_1=42,77$  BB pada saat kritis

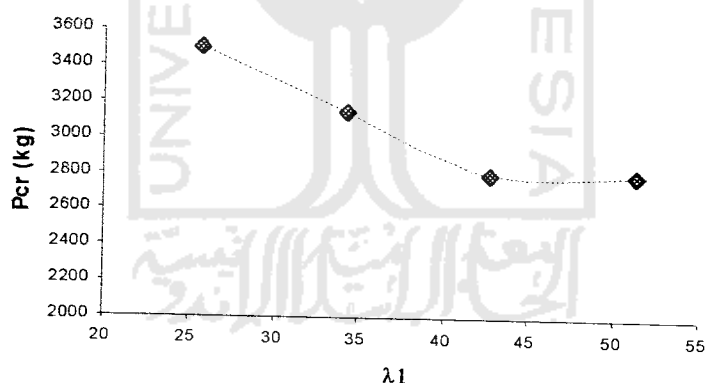


Gambar 5.45 Deformasi sampel kolom 8,  $\lambda_1= 51,33$  BB pada saat kritis

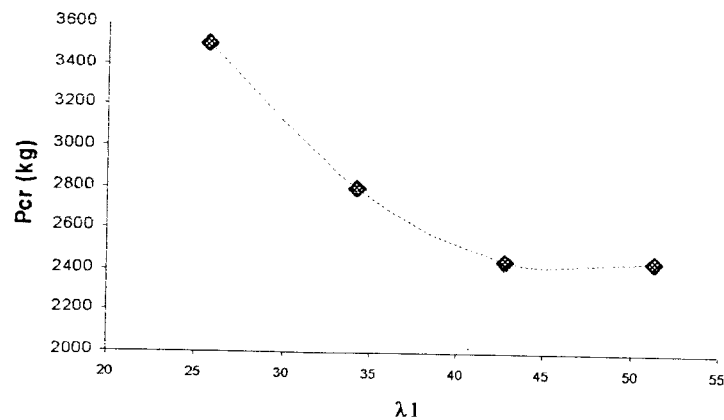
Berdasarkan grafik deformasi pada Gambar 5.38 sampai dengan Gambar 5.45 dapat dilihat tidak ada bentuk deformasi kolom yang tetap untuk semua benda uji, sebagian mengalami lengkung simetris dan tidak simetris. Sampel

kolom 3, sampel kolom 7 dan sampel kolom 8 mengalami kelengkungan ganda. Seperti pada Gambar 5.40, Gambar 5.44 dan Gambar 5.45 dapat dilihat ada pengekangan pada salah satu tumpuan sehingga asumsi tumpuan sendi-sendi tidak dapat memenuhi syarat. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan alat yang digunakan dalam pengujian. Ketidaksamaan bentuk deformasi tersebut menyebabkan faktor panjang efektif ( $K$ ) pada setiap benda uji kolom tidak sama. Karena faktor panjang efektif ( $K$ ) tidak sama, maka untuk pembahasan selanjutnya kelangsingan hanya ditunjukkan dengan  $\lambda_1$  atau rasio  $L_1/r_1$ .

Data Beban kritis  $P_{cr}$  pada Tabel 5.40 dapat disajikan dalam bentuk grafik  $P_{cr}$  yang merupakan fungsi dari  $\lambda_1$ . Gambar grafik  $P_{cr}$  yang merupakan fungsi dari  $\lambda_1$  dapat dilihat pada Gambar 5.46.a dan Gambar 5.46.b.



Gambar 5.46.a Grafik  $P_{cr}$  hasil pengujian benda uji kolom tersusun *front to front*



**Gambar 5.46.b** Grafik  $P_{cr}$  hasil pengujian benda uji kolom tersusun *back to back*

Grafik pada Gambar 5.46.a dan Gambar 5.46.b masih kasar sehingga perlu diperhalus dengan regresi. Regresi dapat digunakan untuk memperkirakan beban kritis untuk setiap angka kelangsingan. Persamaan regresi yang mempunyai nilai  $R \leq 1$  adalah persamaan polinomial.

Persamaan regresi untuk kolom tersusun *front to front* ditunjukkan pada persamaan (5.1).

$$P_{cr} = 1,1949.\lambda_1^2 - 120,63.\lambda_1 + 5826 \quad (5.1)$$

Persamaan regresi untuk kolom tersusun *back to back* ditunjukkan pada persamaan (5.2).

$$P_{cr} = 2,3897.\lambda_1^2 - 224,89.\lambda_1 + 7697,3 \quad (5.2)$$

Namun persamaan (5.1) dan persamaan (5.2) apabila dipakai didalam perhitungan beban kritis ( $P_{cr}$ ) mempunyai hasil yang tidak realistis. Hal tersebut disebabkan pada  $\lambda_1 \geq 50$  kekuatan kolom kembali bertambah. Oleh karena itu dalam mencari beban kritis regresi ( $P_{cr \text{ reg}}$ ) digunakan persamaan eksponensial.



Persamaan regresi untuk kolom tersusun *front to front* ditunjukkan pada persamaan (5.3).

$$P_{cr} = 4345,3.e^{0,0092 \cdot \lambda_1} \quad (5.3)$$

Persamaan regresi untuk kolom tersusun *back to back* ditunjukkan pada persamaan (5.4).

$$P_{cr} = 4760.e^{-0,0141 \cdot \lambda_1} \quad (5.4)$$

Dengan menggunakan persamaan (5.3) dan persamaan (5.4), maka diperoleh beban kritis hasil regresi yang disajikan dalam Tabel 5.41.a dan Tabel 5.41.b.

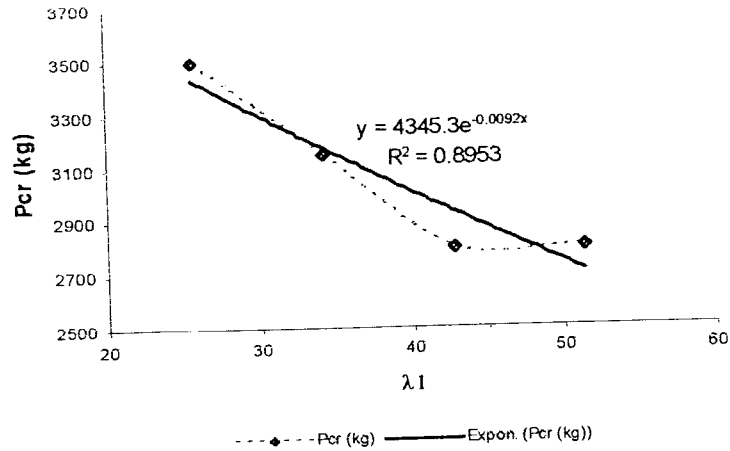
**Tabel 5.41.a** Regresi beban ( $P_{cr}$  reg) benda uji *front to front*

| Benda uji | $\lambda_1$ | $P_{cr}$ (kg) | $P_{cr}$ reg (kg) |
|-----------|-------------|---------------|-------------------|
| Kolom 1   | 25.663      | 3500          | 3431.493          |
| Kolom 2   | 34.217      | 3150          | 3171.789          |
| Kolom 3   | 42.772      | 2800          | 2931.740          |
| Kolom 4   | 51.326      | 2800          | 2709.858          |

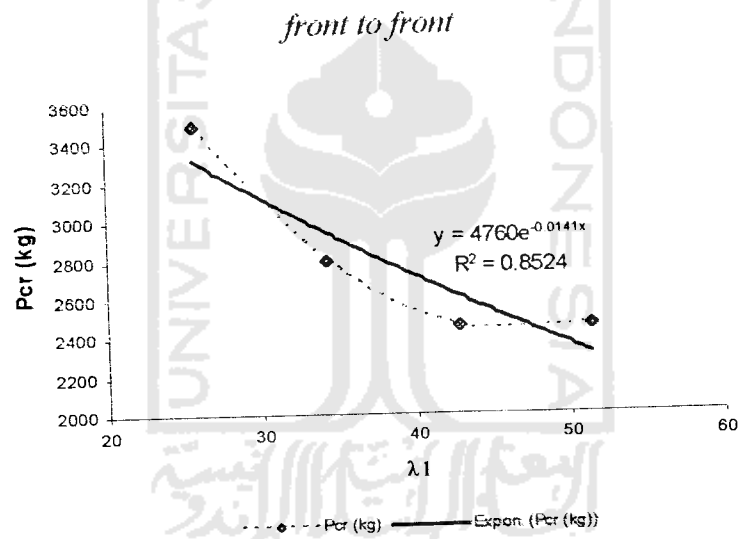
**Tabel 5.41.b** Regresi beban ( $P_{cr}$  reg) benda uji *back to back*

| Benda uji | $\lambda_1$ | $P_{cr}$ (kg) | $P_{cr}$ reg (kg) |
|-----------|-------------|---------------|-------------------|
| Kolom 5   | 25.663      | 3500          | 3314.809          |
| Kolom 6   | 34.217      | 2800          | 2938.161          |
| Kolom 7   | 42.772      | 2450          | 2604.311          |
| Kolom 8   | 51.326      | 2450          | 2308.394          |

Dari Tabel 5.41.a dan Tabel 5.41.b disajikan pada Gambar 5.47.a dan Gambar 5.47.b.

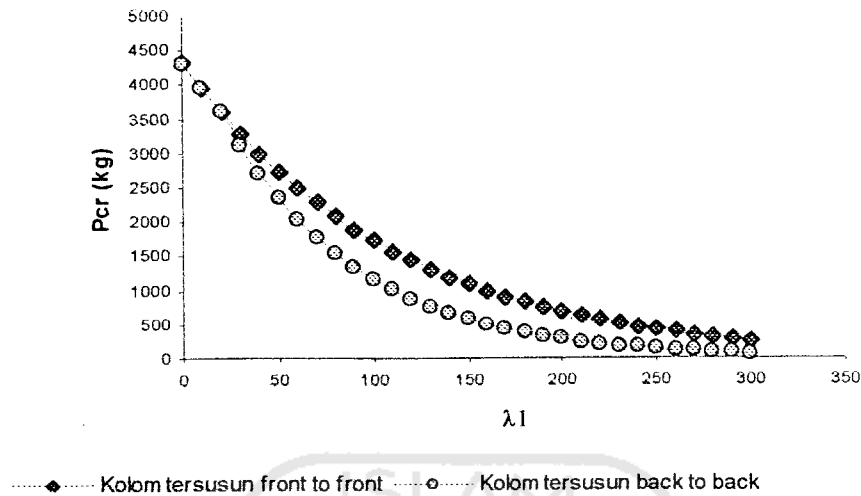


Gambar 5.47.a Perbandingan  $P_{cr}$  pengujian dan  $P_{cr}$  regresi benda uji



Gambar 5.47.b Perbandingan  $P_{cr}$  pengujian dan  $P_{cr}$  regresi benda uji  
*back to back*

Persamaan (5.3) dan persamaan (5.4) dapat digunakan untuk menentukan beban kritis ( $P_{cr}$ ) untuk setiap angka kelangsingan  $\lambda_1$ . Gambar 5.48 menampilkan beban kritis untuk angka kelangsingan  $\lambda_1$  antara 0 sampai dengan 300.



**Gambar 5.48** Grafik beban kritis ( $P_{cr}$ ) dan Fungsi kelangsingan ( $\lambda_1$ ) untuk nilai  $\lambda_1$  antara 0 sampai dengan 300

#### 5.2.2.4 Tegangan kritis ( $F_{cr}$ )

Tegangan yang terjadi pada masing-masing kolom dapat diketahui dengan membagi beban yang terjadi dengan luas penampang kolom ( $F = P/A$ ).

Hasil perhitungan tegangan kritis untuk sampel kolom tersusun silang ganda disajikan dalam bentuk Tabel 5.42.a dan Tabel 5.42.b.

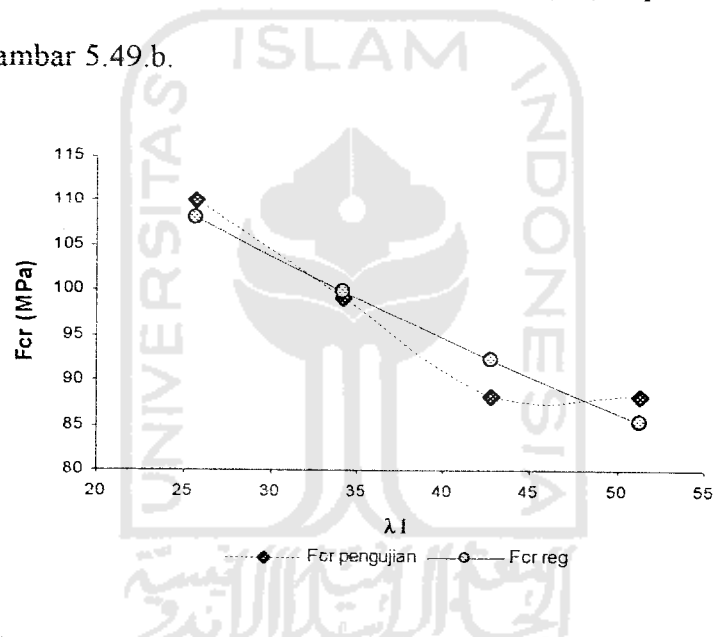
**Tabel 5.42.a** Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) kolom tersusun *front to front*

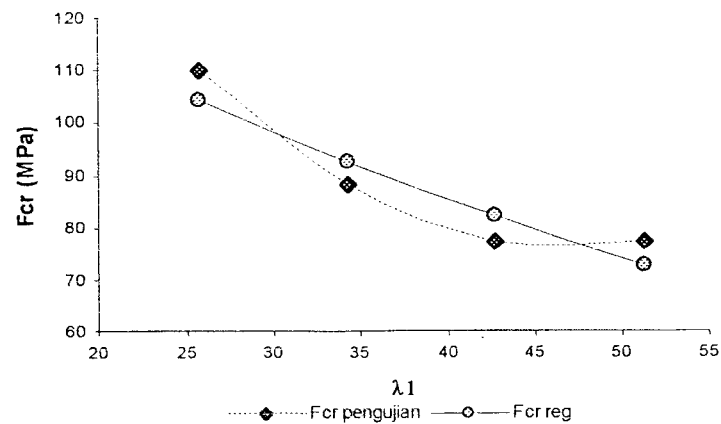
| Benda uji | $\lambda_1$ | $P_{cr}$ (kg) | $P_{cr}$ reg (kg) | $F_{cr}$ (MPa) | $F_{cr}$ reg (MPa) |
|-----------|-------------|---------------|-------------------|----------------|--------------------|
| Kolom 1   | 25.663      | 3500          | 3431.493          | 110.189        | 108.033            |
| Kolom 2   | 34.217      | 3150          | 3171.789          | 99.170         | 99.856             |
| Kolom 3   | 42.772      | 2800          | 2931.740          | 88.151         | 92.299             |
| Kolom 4   | 51.326      | 2800          | 2709.858          | 88.151         | 85.314             |

Tabel 5.42.b Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) kolom tersusun *back to back*

| Benda uji | $\lambda_1$ | $P_{cr}$ (kg) | $P_{cr}$ reg (kg) | $F_{cr}$ (MPa) | $F_{cr}$ reg (MPa) |
|-----------|-------------|---------------|-------------------|----------------|--------------------|
| Kolom 5   | 25.66       | 3500          | 3062.73689        | 110.1893       | 96.42313           |
| Kolom 6   | 34.22       | 2800          | 2863.21325        | 88.15148       | 90.1416            |
| Kolom 7   | 42.77       | 2450          | 2676.89834        | 77.13254       | 84.27591           |
| Kolom 8   | 51.33       | 2450          | 2502.51036        | 77.13254       | 78.78571           |

Tabel 5.42.a dan Tabel 5.42.b dapat ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan kelangsingan ( $\lambda_1$ ) dengan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) seperti pada Gambar 5.49.a dan Gambar 5.49.b.

Gambar 5.49.a Grafik  $F_{cr}$  fungsi  $\lambda_1$  kolom tersusun *front to front*



Gambar 5.49.b Grafik  $F_{cr}$  fungsi  $\lambda_1$  kolom tersusun *back to back*

#### 5.2.2.5 Perhitungan koefisien tekuk pelat

Besar nilai koefisien tekuk pelat dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (3.1), dan telah diketahui besar tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) dan rasio  $b/t$ . Pada penelitian ini hitungan koefisien tekuk pelat dilakukan pada tiga macam sampel benda uji, yaitu: a) pengujian koefisien tekuk pelat pada pengujian kuat tekan profil *Lips Channal* tanpa pelat dasar, b) pengujian koefisien tekuk pelat pada pengujian kuat tekan profil *Lips Channal* dengan pelat dasar, dan c) pengujian koefisien tekuk pelat pada pengujian kuat tekan kolom tersusun perangkat silang ganda.

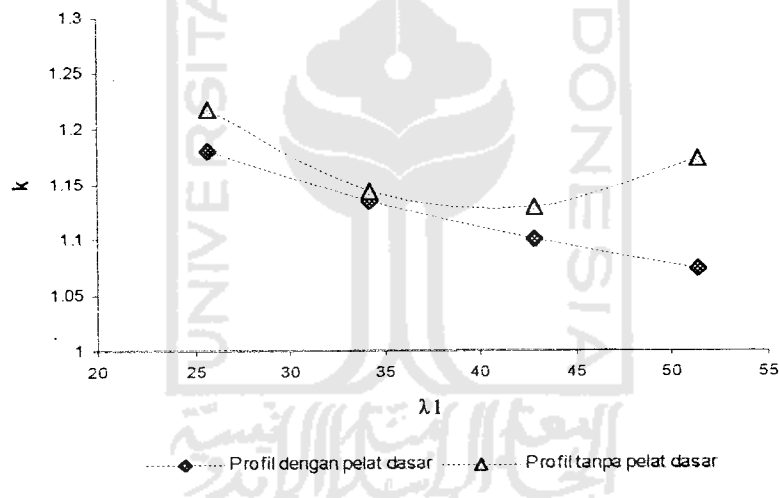
Hasil perhitungan koefisien tekuk pelat pada masing-masing sampel kuat tekan profil *Lips Channal* bentukan dingin disajikan dalam bentuk Tabel 5.43.

**Tabel 5.43** Perhitungan koefisien tekuk pelat pada pengujian kuat tekan profil

*Lips Channal*

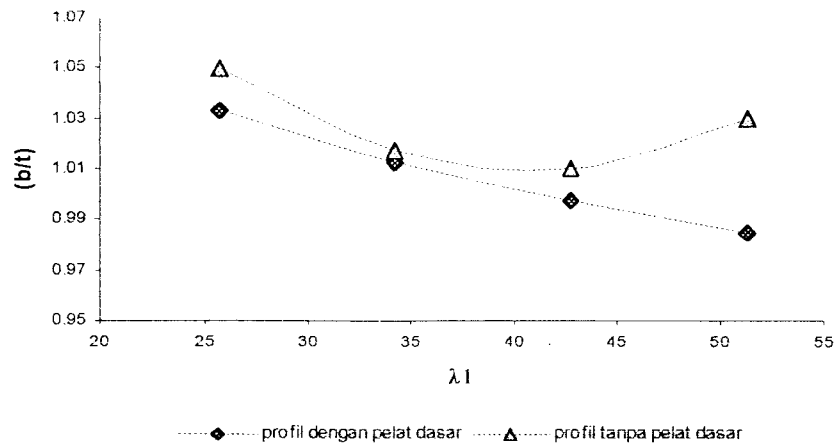
| No | $L_y/r_y$ | Kuat tekan profil dengan pelat dasar |          |        |                               | Kuat tekan profil tanpa pelat dasar |          |        |                               |
|----|-----------|--------------------------------------|----------|--------|-------------------------------|-------------------------------------|----------|--------|-------------------------------|
|    |           | $P_{cr}$                             | $F_{cr}$ | $k$    | $(b/t) \times \sqrt{E / F_y}$ | $P_{cr}$                            | $F_{cr}$ | $k$    | $(b/t) \times \sqrt{E / F_y}$ |
|    |           | (kg)                                 | Mpa      |        |                               | (kg)                                | Mpa      |        |                               |
| 1  | 25.66     | 1355.5055                            | 85.3499  | 1.1801 | 1.0329                        | 1398.7301                           | 88.0715  | 1.2177 | 1.0492                        |
| 2  | 34.22     | 1303.0485                            | 82.0469  | 1.1344 | 1.0127                        | 1313.7438                           | 82.7203  | 1.1438 | 1.0169                        |
| 3  | 42.77     | 1263.8082                            | 79.5761  | 1.1003 | 0.9973                        | 1296.2821                           | 81.6208  | 1.1286 | 1.0101                        |
| 4  | 51.33     | 1232.5895                            | 77.6104  | 1.0731 | 0.9850                        | 1346.3041                           | 84.7705  | 1.1721 | 1.0294                        |

Dari data koefisien tekuk pelat pada Tabel 5.43 disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.54.



**Gambar 5.50** Grafik Perbandingan nilai  $k$  profil *Lips Channal*

Dari data rasio  $b/t$  disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.51.



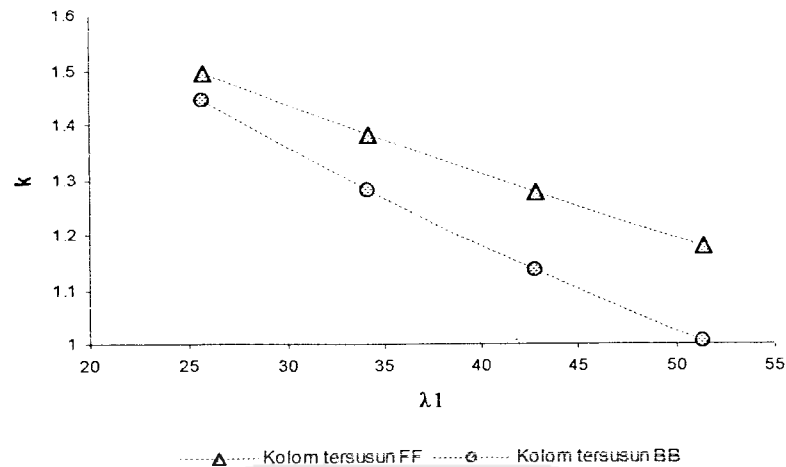
**Gambar 5.51** Grafik perbandingan nilai rasio  $b/t$  profil *Lips Channel*

Hasil perhitungan koefisien tekuk pelat pada masing-masing sampel kuat tekan kolom tersusun silang ganda disajikan dalam bentuk Tabel 5.44.

**Tabel 5.44** Perhitungan koefisien tekuk pelat pada pengujian kolom tersusun perangkat silang ganda

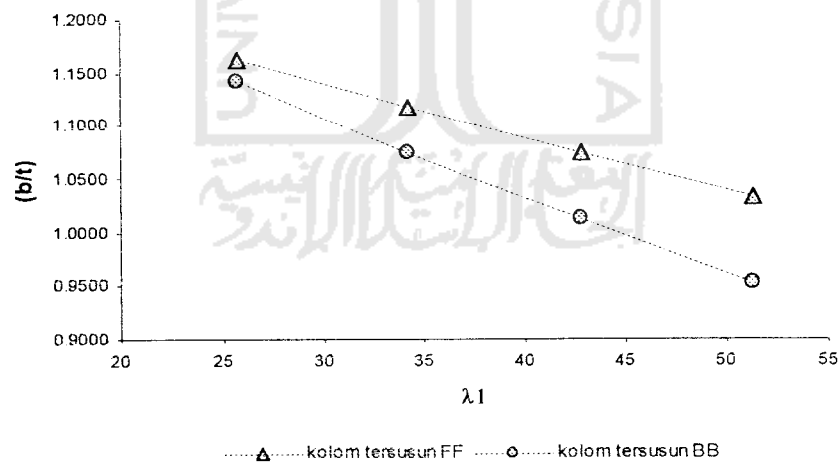
| No | $\lambda_1$ | kolom tersusun <i>front to front</i> |                   |                                |        | kolom tersusun <i>back to back</i> |                   |                                |        |
|----|-------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------|--------|------------------------------------|-------------------|--------------------------------|--------|
|    |             | $P_{cr}$<br>(kg)                     | $F_{cr}$<br>(MPa) | $k$<br>$\times \sqrt{E / E_y}$ | (b/t)  | $P_{cr}$<br>(kg)                   | $F_{cr}$<br>(MPa) | $k$<br>$\times \sqrt{E / E_y}$ | (b/t)  |
| 1  | 25.66       | 3431.4934                            | 108.0326          | 1.4937                         | 1.1621 | 3314.8087                          | 104.3590          | 1.4429                         | 1.1421 |
| 2  | 34.22       | 3171.7891                            | 99.8564           | 1.3807                         | 1.1172 | 2938.1613                          | 92.5012           | 1.2790                         | 1.0753 |
| 3  | 42.77       | 2931.7399                            | 92.2990           | 1.2762                         | 1.0741 | 2604.3108                          | 81.9907           | 1.1337                         | 1.0124 |
| 4  | 51.33       | 2709.8582                            | 85.3136           | 1.1796                         | 1.0327 | 2308.3943                          | 72.6744           | 1.0049                         | 0.9531 |

Dari data koefisien tekuk pelat pada Tabel 5.44 disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.52.



**Gambar 5.52** Grafik Perbandingan nilai  $k$  kolom tersusun silang ganda

Dari data rasio  $b/t$  disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.53.



**Gambar 5.53** Grafik perbandingan nilai rasio  $b/t$  kolom tersusun silang ganda

Persyaratan rasio  $b/t$  berdasarkan penelitian yang dikemukakan oleh Barker dan Puckett (1997) terdapat pada Gambar 3.6.



Hasil perhitungan pada Tabel 5.44 mendekati sama dengan persyaratan yang dikemukakan Barker dan Puckett (1997) untuk kolom berpenampang kotak seperti pada Gambar 3.6. Berdasarkan kondisi tersebut dapat diambil kesimpulan, bahwa profil yang digunakan memenuhi syarat, nilai koefisien tekuk pelat  $k$  sesuai dengan asumsi berdasarkan teori.

### 5.2.2.6 Perhitungan modulus tangen

Beban kritis untuk tekuk elastis hanya berlaku untuk kolom yang relatif panjang, sedangkan pada kolom dengan panjang menengah kita membutuhkan teori tekuk inelastis untuk mendapatkan modulus tangen.

Hasil dari perhitungan modulus tangen kolom tersusun silang ganda disajikan dalam Tabel 5.45.a dan Tabel 5.45.b.

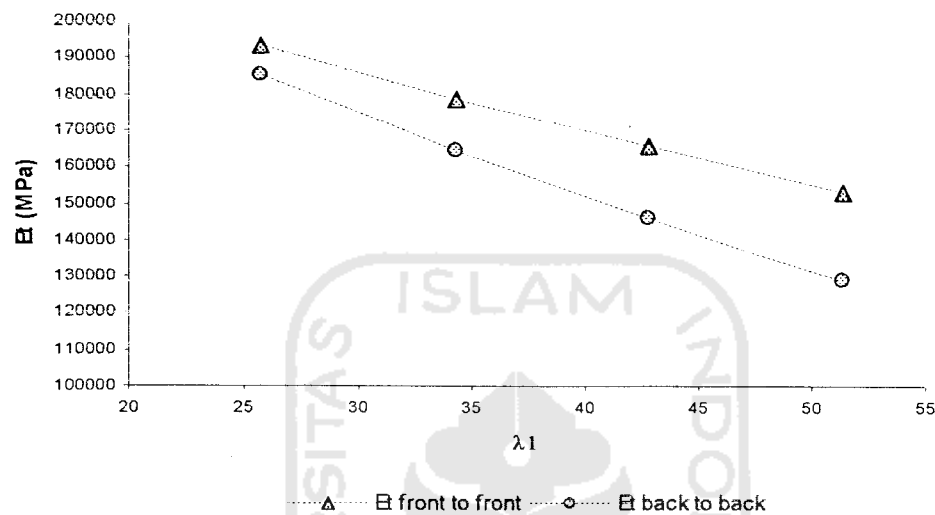
**Tabel 5.45.a** Perhitungan modulus tangen ( $E_t$ ) untuk kolom tersusun silang ganda *front to front*

| Benda Uji | $\lambda_t$ | $P_{cr}$ (kg) | $F_{cr\ gab}$ (MPa) | $E_t$ (MPa) |
|-----------|-------------|---------------|---------------------|-------------|
| Kolom 1   | 25.663      | 3431.4934     | 108.03              | 193511.46   |
| Kolom 2   | 34.217      | 3171.7891     | 99.86               | 178866.01   |
| Kolom 3   | 42.772      | 2931.7399     | 92.30               | 165328.97   |
| Kolom 4   | 51.326      | 2709.8582     | 85.31               | 152816.44   |

**Tabel 5.45.b** Perhitungan modulus tangen ( $E_t$ ) untuk kolom tersusun silang ganda *back to back*

| Benda Uji | $\lambda_t$ | $P_{cr}$ (kg) | $F_{cr\ gab}$ (MPa) | $E_t$ (MPa) |
|-----------|-------------|---------------|---------------------|-------------|
| Kolom 5   | 25.663      | 3314.81       | 104.36              | 185448.69   |
| Kolom 6   | 34.217      | 2938.16       | 92.50               | 164376.96   |
| Kolom 7   | 42.772      | 2604.31       | 81.99               | 145699.52   |
| Kolom 8   | 51.326      | 2308.39       | 72.67               | 129144.31   |

Data hasil perhitungan modulus tangen kolom tersusun pada Tabel 5.45.a dan Tabel 5.45.b disajikan dalam bentuk grafik perbandingan modulus tangen untuk kedua penampang kolom berikut ini.



**Gambar 5.54** Grafik perbandingan modulus tangen ( $E_t$ ) kolom tersusun silang ganda *front to front* dengan *back to back*

Dari Gambar 5.54 nampak bahwa modulus tangen *front to front* mempunyai nilai yang lebih besar dibanding modulus tangen *back to back*, hal ini disebabkan Tegangan maksimum yang terjadi pada kolom tersusun *front to front* lebih besar dibandingkan dengan kolom tersusun *back to back*.

### 5.3 Perhitungan teoritis

Perhitungan teoritis dilakukan dengan menggunakan metode *Bleich* dan metode AISC.

### 5.3.1 Perhitungan dengan metode *Bleich*

Tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) secara teori dapat ditentukan berdasarkan kekuatan kolom menahan tekuk keseluruhan dengan menggunakan persamaan tekuk *Bleich*. Persamaan yang digunakan untuk mengetahui tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) tekuk keseluruhan adalah persamaan (3.10). Besar  $F_{cr}$  tergantung kelangsingan  $L/r$  sehingga  $F_{cr}$  selalu berubah sebanding dengan pertambahan angka kelangsingan ( $L/r$ ).

Dari hasil perhitungan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) kolom tersusun dengan menggunakan metode *Bleich*, diperoleh data yang disajikan dalam Tabel 5.46.a dan Tabel 5.46.b.

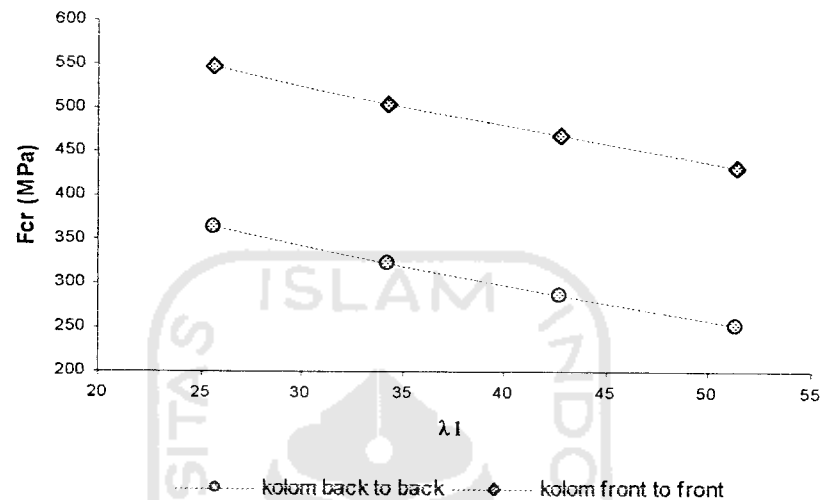
**Tabel 5.46.a** Perhitungan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) dengan metode *Bleich* untuk kolom tersusun *front to front*

| Benda uji | $\lambda_f$ | $E_t$ (MPa) | $k$            | $P_{cr}$ (kg) | $F_{cr}$ (MPa) |
|-----------|-------------|-------------|----------------|---------------|----------------|
| Kolom 1   | 25.663      | 193511.46   | 1.000000742047 | 17375.25456   | 547.0194       |
| Kolom 2   | 34.217      | 178866.01   | 1.000000664870 | 16060.25278   | 505.6196       |
| Kolom 3   | 42.772      | 165328.97   | 1.000000605349 | 14844.77303   | 467.3531       |
| Kolom 4   | 51.326      | 152816.44   | 1.000000554859 | 13721.28355   | 431.9826       |

**Tabel 5.46.b** Perhitungan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) dengan metode *Bleich* untuk kolom tersusun *back to back*

| Benda uji | $\lambda_f$ | $E_t$ (MPa) | $k$            | $P_{cr}$ (kg) | $F_{cr}$ (MPa) |
|-----------|-------------|-------------|----------------|---------------|----------------|
| Kolom 5   | 25.663      | 185448.69   | 1.000000711129 | 11533.9376    | 363.1192       |
| Kolom 6   | 34.217      | 164376.96   | 1.000000611013 | 10223.3883    | 321.8596       |
| Kolom 7   | 42.772      | 145699.52   | 1.000000533476 | 9061.75043    | 285.2881       |
| Kolom 8   | 51.326      | 129144.31   | 1.000000468908 | 8032.10404    | 252.8721       |

Dari data pada Tabel 5.46.a dan Tabel 5.46.b disajikan dalam grafik perbandingan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) kolom tersusun yang ditunjukkan pada Gambar 5.55.



**Gambar 5.55** Perbandingan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) kolom tersusun silang ganda *front to front* dengan *back to back*

Dari Grafik di atas, nampak bahwa kolom tersusun silang ganda yang dirancang saling berhadapan (*front to front*) mempunyai kapasitas yang lebih besar dalam menahan gaya tekan aksial dibandingkan dengan kolom tersusun silang ganda yang dirancang saling membelakangi (*back to back*).

### 5.3.2 Perhitungan tegangan berdasarkan AISC

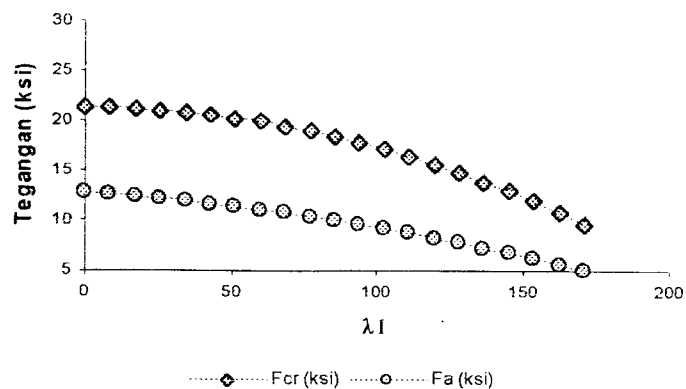
Sebagai bahan perbandingan pada penelitian ini, perencanaan hitungan tegangan juga menggunakan perencanaan AISC. Pada perencanaan AISC hitungan tegangan ijin sangat mempertimbangkan pengaruh tekuk lokal. Hal ini dibuktikan dengan tingginya faktor keamanan yang dianjurkan.

Hasil perhitungan dilakukan untuk semua nilai  $L_1/r_1$ . Besar tegangan kritis  $F_{cr}$  dan tegangan ijin  $F_a$  ditampilkan dalam Tabel 5.47 dibawah ini.

**Tabel 5.47** Perhitungan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) dengan sistem perencanaan AISC

| $L_1$<br>(inch) | $\lambda_1$ | $F_y$<br>(ksi) | $Q_x$ | $Q_y$ | $Q$   | $C_c$   | $F_{cr}$<br>(ksi) | $FS$  | $F_a$<br>(ksi) |
|-----------------|-------------|----------------|-------|-------|-------|---------|-------------------|-------|----------------|
| 0.000           | 0.000       | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 21.349            | 1.667 | 12.809         |
| 0.394           | 8.554       | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 21.320            | 1.686 | 12.643         |
| 0.787           | 17.109      | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 21.232            | 1.706 | 12.448         |
| 1.181           | 25.663      | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 21.087            | 1.725 | 12.224         |
| 1.575           | 34.217      | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 20.882            | 1.744 | 11.974         |
| 1.969           | 42.772      | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 20.620            | 1.762 | 11.700         |
| 2.362           | 51.326      | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 20.299            | 1.780 | 11.401         |
| 2.756           | 59.880      | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 19.920            | 1.798 | 11.081         |
| 3.150           | 68.435      | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 19.483            | 1.814 | 10.738         |
| 3.543           | 76.989      | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 18.987            | 1.830 | 10.375         |
| 3.937           | 85.543      | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 18.433            | 1.845 | 9.992          |
| 4.331           | 94.098      | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 17.820            | 1.859 | 9.589          |
| 4.724           | 102.652     | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 17.150            | 1.871 | 9.166          |
| 5.118           | 111.206     | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 16.421            | 1.882 | 8.724          |
| 5.512           | 119.760     | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 15.633            | 1.892 | 8.262          |
| 5.906           | 128.315     | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 14.788            | 1.900 | 7.781          |
| 6.299           | 136.869     | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 13.884            | 1.907 | 7.280          |
| 6.693           | 145.423     | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 12.921            | 1.912 | 6.757          |
| 7.087           | 153.978     | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 11.901            | 1.915 | 6.213          |
| 7.480           | 162.532     | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 10.822            | 1.917 | 5.646          |
| 7.874           | 171.086     | 21.349         | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 163.665 | 9.684             | 1.916 | 5.055          |

Data pada Tabel 5.47 disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.56.



**Gambar 5.56** Grafik tegangan berdasarkan AISC

Grafik tegangan kritis  $F_{cr}$  berdasarkan AISC yang tidak menyertakan faktor reduksi tegangan (faktor keamanan  $FS$ ). Grafik tegangan ijin  $F_a$  berdasarkan AISC yang telah direduksi oleh faktor keamanan  $FS$  sehingga nilainya lebih kecil dari Grafik  $F_{cr}$  berdasarkan AISC.

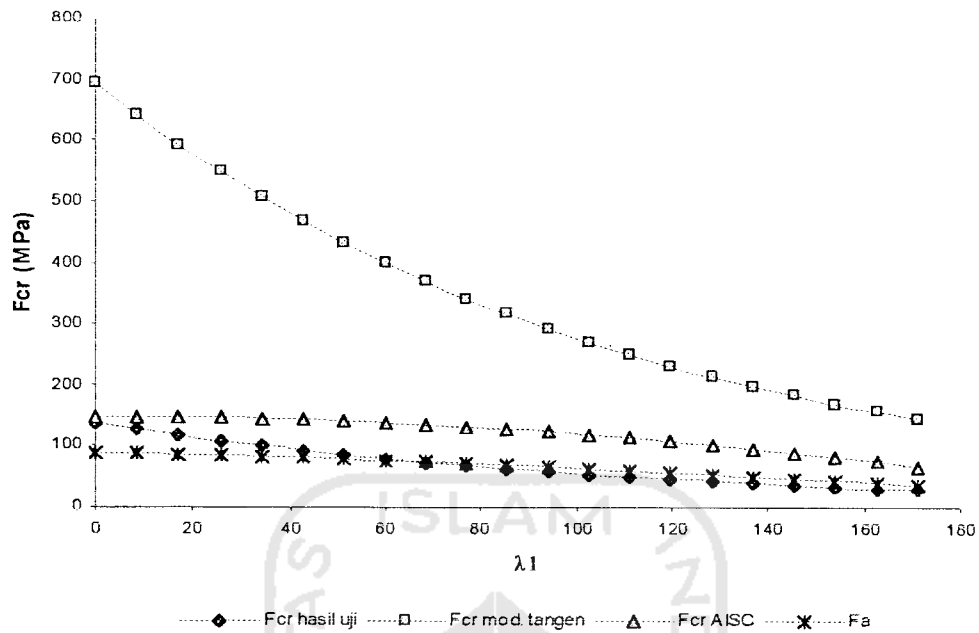
### 5.3.3 Perbandingan tegangan teoritis dengan tegangan hasil pengujian dan tegangan AISC

Tegangan yang mampu ditahan oleh kolom bentukan dingin adalah seperti hasil dari pengujian, sedangkan tegangan teoritis didapat berdasarkan hitungan dengan menggunakan metode *Bleich*, kemudian keduanya dibandingkan dengan tegangan AISC dan tegangan ijin berdasarkan AISC. Perbandingan tegangan hasil pengujian, tegangan metode *Bleich*, tegangan AISC dan tegangan ijin AISC untuk kolom tersusun silang ganda *front to front* disajikan dalam bentuk Tabel 5.48 dan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.57.

**Tabel 5.48** Perbandingan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) hasil pengujian dengan  $F_{cr}$  teori *Bleich* dan  $F_{cr}$  AISC untuk kolom tersusun silang ganda *front to front*

| $L_1/r_1$ | Pengujian Front to Front |                | Metode Bleich  |                | AISC         |           |
|-----------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|-----------|
|           | $P_{cr}$ (kg)            | $F_{cr}$ (MPa) | Modulus tangen |                | $F_{cr}$ MPa | $F_a$ MPa |
|           |                          |                | $P_{cr}$ (kg)  | $F_{cr}$ (MPa) |              |           |
| 0.000     | 4345.000                 | 136.792        | 22000.798      | 692.644        | 147.167      | 88.300    |
| 8.554     | 4016.159                 | 126.439        | 20335.669      | 640.221        | 146.966      | 87.156    |
| 17.109    | 3712.206                 | 116.870        | 18796.628      | 591.768        | 146.363      | 85.807    |
| 25.663    | 3431.256                 | 108.025        | 17374.055      | 546.982        | 145.358      | 84.267    |
| 34.217    | 3171.570                 | 99.849         | 16059.144      | 505.585        | 143.951      | 82.545    |
| 42.772    | 2931.537                 | 92.293         | 14843.748      | 467.321        | 142.143      | 80.652    |
| 51.326    | 2709.671                 | 85.308         | 13720.336      | 431.953        | 139.932      | 78.596    |
| 59.880    | 2504.596                 | 78.851         | 12681.947      | 399.262        | 137.319      | 76.385    |
| 68.435    | 2315.042                 | 72.884         | 11722.145      | 369.044        | 134.305      | 74.025    |
| 76.989    | 2139.834                 | 67.368         | 10834.984      | 341.114        | 130.888      | 71.522    |
| 85.543    | 1977.885                 | 62.269         | 10014.965      | 315.298        | 127.069      | 68.880    |
| 94.098    | 1828.194                 | 57.556         | 9257.007       | 291.435        | 122.849      | 66.101    |
| 102.652   | 1689.831                 | 53.200         | 8556.413       | 269.379        | 118.227      | 63.189    |
| 111.206   | 1561.941                 | 49.174         | 7908.842       | 248.991        | 113.202      | 60.142    |
| 119.760   | 1443.729                 | 45.452         | 7310.281       | 230.147        | 107.776      | 56.962    |
| 128.315   | 1334.464                 | 42.012         | 6757.020       | 212.729        | 101.948      | 53.645    |
| 136.869   | 1233.468                 | 38.833         | 6245.631       | 196.629        | 95.718       | 50.189    |
| 145.423   | 1140.116                 | 35.894         | 5772.946       | 181.748        | 89.085       | 46.589    |
| 153.978   | 1053.829                 | 33.177         | 5336.035       | 167.993        | 82.051       | 42.838    |
| 162.532   | 974.073                  | 30.666         | 4932.190       | 155.279        | 74.615       | 38.930    |
| 171.086   | 900.352                  | 28.345         | 4558.909       | 143.527        | 66.777       | 34.855    |

Data pada Tabel 5.48 dapat disajikan dalam bentuk grafik perbandingan antara  $F_{cr}$  hasil pengujian dengan  $F_{cr}$  hasil analisis dengan menggunakan metode *Bleich* dan  $F_{cr}$  hasil analisis dengan menggunakan metode AISC. Grafik tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.57.



**Gambar 5.57** Grafik perbandingan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) hasil pengujian dengan  $F_{cr}$  teori *Bleich* dan  $F_{cr}$  AISC untuk kolom tersusun silang ganda *front to front*

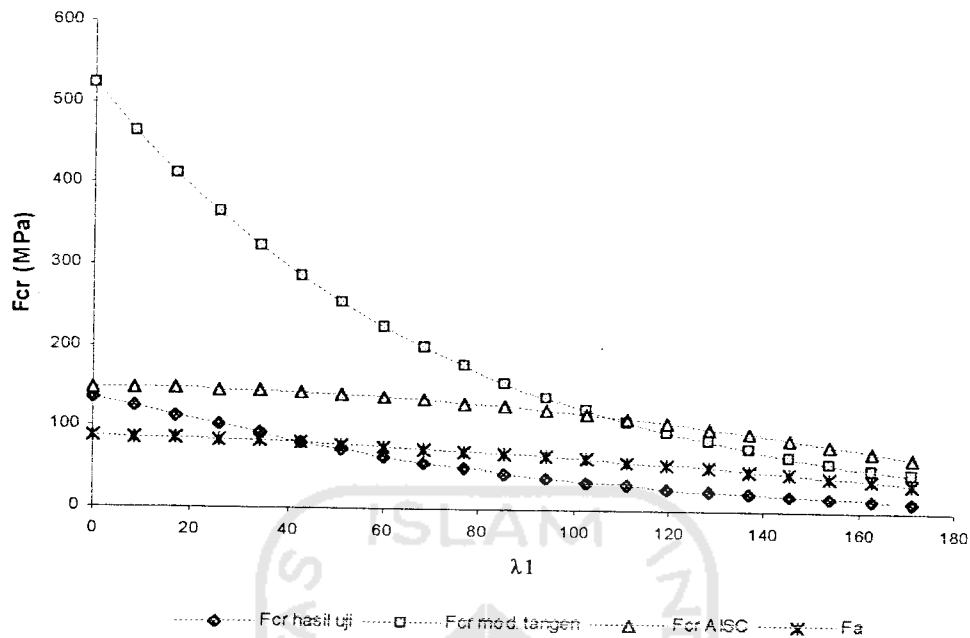
Perbandingan tegangan hasil pengujian, tegangan metode *Bleich*, tegangan AISC dan tegangan ijin AISC untuk kolom tersusun silang ganda *back to back* disajikan dalam bentuk Tabel 5.49 dan grafik pada Gambar 5.58.



**Tabel 5.49** Perbandingan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) hasil pengujian dengan  $F_{cr}$  teori *Bleich* dan  $F_{cr}$  AISC untuk kolom tersusun silang ganda *back to back*

| $L_1$ | $A_1$   | Pengujian Back to Back |                | Metode Bleich  |                | AISC         |           |
|-------|---------|------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|-----------|
|       |         | $P_{cr}$ (kg)          | $F_{cr}$ (MPa) | Modulus tangen |                | $F_{cr}$ MPa | $F_a$ MPa |
|       |         |                        |                | $P_{cr}$ (kg)  | $F_{cr}$ (MPa) |              |           |
| 0     | 0.000   | 4307.300               | 135.605        | 16560.791      | 521.378        | 147.167      | 88.300    |
| 10    | 8.554   | 3950.370               | 124.368        | 14679.022      | 462.135        | 146.966      | 87.156    |
| 20    | 17.109  | 3595.100               | 113.183        | 13011.120      | 409.625        | 146.363      | 85.807    |
| 30    | 25.663  | 3314.460               | 104.348        | 11532.726      | 363.081        | 145.358      | 84.267    |
| 40    | 34.217  | 2937.853               | 92.491         | 10222.314      | 321.826        | 143.951      | 82.545    |
| 50    | 42.772  | 2604.037               | 81.982         | 9060.799       | 285.258        | 142.143      | 80.652    |
| 60    | 51.326  | 2308.152               | 72.667         | 8031.260       | 252.846        | 139.932      | 78.596    |
| 70    | 59.880  | 2045.886               | 64.410         | 7118.704       | 224.116        | 137.319      | 76.385    |
| 80    | 68.435  | 1813.421               | 57.091         | 6309.837       | 198.651        | 134.305      | 74.025    |
| 90    | 76.989  | 1607.370               | 50.604         | 5592.878       | 176.079        | 130.888      | 71.522    |
| 100   | 85.543  | 1424.732               | 44.854         | 4957.384       | 156.072        | 127.069      | 68.880    |
| 110   | 94.098  | 1262.846               | 39.758         | 4394.098       | 138.338        | 122.849      | 66.101    |
| 120   | 102.652 | 1119.354               | 35.240         | 3894.816       | 122.619        | 118.227      | 63.189    |
| 130   | 111.206 | 992.167                | 31.236         | 3452.265       | 108.687        | 113.202      | 60.142    |
| 140   | 119.760 | 879.431                | 27.687         | 3059.999       | 96.337         | 107.776      | 56.962    |
| 150   | 128.315 | 779.505                | 24.541         | 2712.305       | 85.391         | 101.948      | 53.645    |
| 160   | 136.869 | 690.933                | 21.752         | 2404.118       | 75.688         | 95.718       | 50.189    |
| 170   | 145.423 | 612.425                | 19.281         | 2130.948       | 67.088         | 89.085       | 46.589    |
| 180   | 153.978 | 542.838                | 17.090         | 1888.818       | 59.465         | 82.051       | 42.838    |
| 190   | 162.532 | 481.158                | 15.148         | 1674.200       | 52.708         | 74.615       | 38.930    |
| 200   | 171.086 | 426.486                | 13.427         | 1483.968       | 46.719         | 66.777       | 34.855    |

Data pada Tabel 5.49 dapat disajikan dalam bentuk grafik perbandingan antara  $F_{cr}$  hasil pengujian dengan  $F_{cr}$  hasil analisis dengan menggunakan metode *Bleich* dan  $F_{cr}$  hasil analisis dengan menggunakan metode AISC. Grafik tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.58.



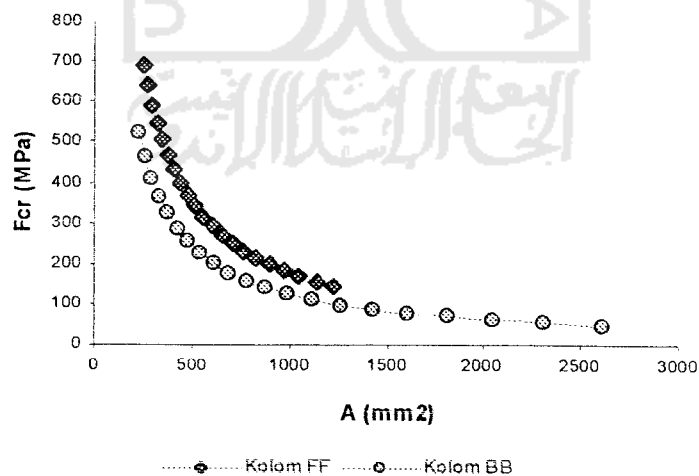
**Gambar 5.58** Grafik perbandingan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) hasil pengujian dengan  $F_{cr}$  teori *Bleich* dan  $F_{cr}$  AISC untuk kolom tersusun silang ganda *back to back*

Pada Gambar 5.57 dan Gambar 5.58 nampak bahwa nilai  $F_{cr}$  hasil pengujian berada dibawah nilai  $F_{cr}$  metode *Bleich* dengan menggunakan modulus tangen. Hal tersebut dikarenakan teori tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) *Bleich* tidak memperhatikan tekuk lokal pada elemen pembentuk kolom tersusun. Hasil penelitian dan analisis menunjukkan bahwa benda uji kolom tersusun silang ganda *front to front* dan *back to back* mengalami tekuk lokal. Gambar 5.57 dan Gambar 5.58 menunjukkan bahwa tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) berdasarkan hasil pengujian yang dapat di tahan oleh kolom tersusun silang ganda *front to front* dan *back to back* lebih rendah dari tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) AISC. Gambar 5.57 dan Gambar 5.58 juga memperlihatkan bahwa tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) hasil pengujian diatas tegangan ijin

( $F_a$ ) AISC hal ini menunjukkan bahwa angka keamanan masih memadai untuk digunakan, namun setelah  $L_1/r_1 > 50 F_{cr}$  hasil pengujian berada dibawah  $F_a$  hal tersebut menunjukkan bahwa kolom dengan  $\lambda_1 > 50$  sudah tidak layak digunakan dalam konstruksi.

#### 5.4 Hubungan Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) Dengan Faktor-faktor Yang Mempengaruhinya

Berdasarkan rumus *Euler* pada persamaan (3.8) sampai dengan persamaan (3.10) dapat diperoleh grafik hubungan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) dengan luas penampang ( $A$ ), panjang elemen batang yang dibatasi oleh ujung-ujung batang penghubung ( $L_1$ ), faktor tekuk ( $k$ ), angka kelangsingan ( $\lambda_1$ ) dan momen inersia ( $I$ ). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.59 sampai dengan Gambar 5.63.



Gambar 5.59 Grafik hubungan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) dan luas penampang ( $A$ )