

## BAB IV

### PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Umum

Perhitungan kekuatan kolom baja pada kondisi tekuk inelastis dengan pembebanan eksentris dilakukan dengan menggunakan metode kurva kekuatan kolom. Kurva kekuatan kolom digunakan untuk menentukan harga dari modulus tangen ( $E_t$ ) dan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) yang terjadi pada angka kelangsingan kolom yang terjadi.

Menggunakan harga tegangan kritis yang terjadi dan harga eksentrisitas tertentu dihitung beban aksial tekan maksimum yang dapat ditahan kolom baja.

#### 4.2. Perhitungan

Berdasarkan pembatasan masalah, perhitungan kolom baja pada kondisi tekuk inelastis dengan pembebanan eksentris dilakukan terhadap baja profil W tunggal mutu  $F_y = 36$  ksi. Ketentuan yang digunakan adalah :

- a) Panjang kolom ( $l$ ) = 400 cm.
- b) Kondisi ujung sendi-sendi, kofisien  $k = 1$ .
- c) Modulus Elastisitas ( $E$ ) =  $2,1 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>
- d) Mutu baja ( $F_y$ ) = 2400 kg/cm<sup>2</sup>

- e) Tegangan proporsional  $F_{cr} = F_p = 0,5.F_y = 0,5.2400 = 1200 \text{ kg/cm}^2$
- f) Eksentrisitas terjadi terhadap sumbu lemah (y-y) dan besarnya diasumsikan sebesar  $0,00b$ ;  $0,001b$ ;  $0,002b$ ;  $0,003b$ ;  $0,004b$ ;  $0,005b$ ;  $0,1b$ ;  $0,12b$ ;  $0,14b$ ;  $0,1667b$ .

### Kolom baja profil W 18 x 35

#### Data profil :

$$A = 10,3 \text{ in}^2 = 66,452 \text{ cm}^2$$

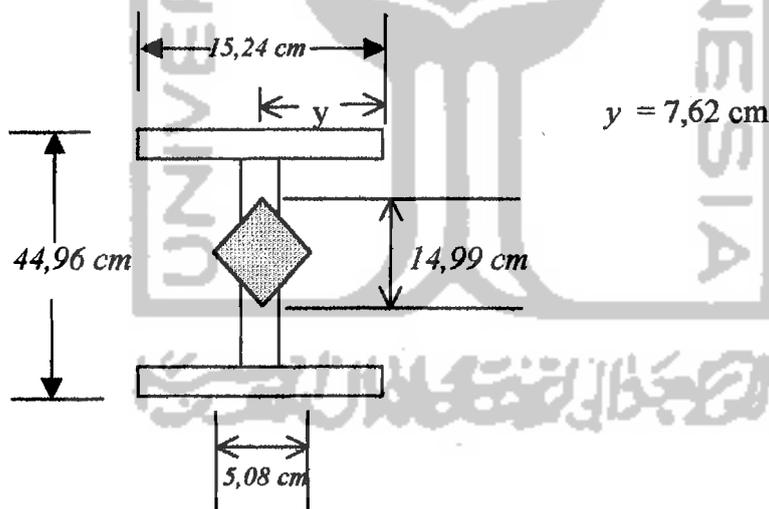
$$I_x = 610 \text{ in}^4 = 25390,117 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 15,3 \text{ in}^4 = 636,834 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 7,04 \text{ in} = 17,8816 \text{ cm}$$

$$r_y = 1,22 \text{ in} = 3,0988 \text{ cm}$$

#### Penentuan batas daerah kern profil W 18 x 35



Gambar 4.1. Batas daerah kern penampang profil W 18 x 35.

Menurut aturan sepertiga tengah, batas daerah kern penampang profil adalah :

Horisontal sebesar 5,08 cm dan vertikalnya sebesar 14,99 cm, sehingga besarnya eksentrisitas yang diasumsikan ( $e_{max} = 0,1667b = 2,54 \text{ cm}$ ) adalah berada di dalam daerah kern tersebut.

**Perhitungan angka kelangsingan :**

$$\frac{k.l}{r} = \frac{1.(400 : 2,54)}{1,22} = 129,082$$

**Perhitungan kelangsingan kritis ( $C_c$ ) :**

$$C_c = \sqrt{\frac{2.\pi^2.E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2.\pi^2.2,1.10^6}{2400}}$$

$$= 131,422$$

Diperoleh angka kelangsingan terjadi  $(\frac{k.l}{r}) < C_c$ , maka kolom dalam kondisi tekuk inelastis.

**Perhitungan modulus tangen menggunakan faktor  $\tau = \frac{E_t}{E}$  :**

$$\tau = \frac{(F_y - F_{cr}).F_{cr}}{(F_y - F_p).F_p}$$

$$= \frac{(2400 - 1200).1200}{(2400 - 1200).1200} = 1$$

sehingga harga  $E_t = 1 \times 2,1.10^6 \text{ kg/cm}^2 = 2,1.10^6 \text{ kg/cm}^2$

Selanjutnya perhitungan modulus tangen untuk harga-harga tegangan kritis yang telah ditetapkan, disajikan dalam tabel :

Tabel 4.1. Perhitungan Modulus Tangen ( $E_t$ ).

$F_{cr}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\tau = E_t / E$	$E_t$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1200	1	$2,100 \times 10^6$
1300	0,993	$2,085 \times 10^6$
1400	0,972	$2,042 \times 10^6$
1500	0,938	$1,969 \times 10^6$
1600	0,889	$1,867 \times 10^6$
1700	0,826	$1,735 \times 10^6$
1800	0,750	$1,575 \times 10^6$
1900	0,660	$1,385 \times 10^6$
2000	0,556	$1,167 \times 10^6$
2100	0,438	$0,919 \times 10^6$
2200	0,306	$0,642 \times 10^6$
2300	0,160	$0,335 \times 10^6$
2400	0	0

Harga-harga tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) yang telah ditentukan dan harga modulus tangen ( $E_t$ ) yang dihasilkan digunakan untuk menentukan angka kelangsingan kolom. Hubungan antara tegangan kritik dengan modulus tangen akan menghasilkan besarnya angka kelangsingan yang terjadi :

$$\frac{kI}{r} = \pi \sqrt{\frac{E_t}{F_{cr}}}$$

Untuk harga tegangan kritis  $F_{cr} = 1200 \text{ kg/cm}^2$ , modulus tangen  $E_t = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ , maka besarnya angka kelangsingan terjadi adalah :

$$\frac{k.l}{r} = \pi \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^6}{1200}} = 131,422$$

Perhitungan angka kelangsingan terjadi selanjutnya dalam bentuk tabel :

Tabel 4.2. Perhitungan angka kelangsingan terjadi.

$F_{cr} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$E_t \text{ (} 10^6 \text{ kg/cm}^2\text{)}$	$E_t / F_{cr}$	$\sqrt{E_t / F_{cr}}$	$\pi \sqrt{E_t / F_{cr}}$
1200	2,100	1750	41,833	131,422
1300	2,085	1604,167	40,052	125,827
1400	2,042	1458,333	38,188	119,972
1500	1,969	1312,500	36,228	113,815
1600	1,867	1166,667	34,157	107,306
1700	1,735	1020,833	31,950	100,375
1800	1,575	875,000	29,580	92,930
1900	1,385	728,167	26,999	84,819
2000	1,167	583,500	24,155	75,888
2100	0,919	437,619	20,917	65,720
2200	0,642	291,818	17,083	53,667
2300	0,335	145,652	12,069	37,915
2400	0	0	0	0

Perhitungan tegangan kritis dan modulus tangen untuk kolom dengan angka kelangsingan tertentu digunakan harga-harga tegangan kritis, modulus tangen, dan angka kelangsingan yang terjadi dengan cara interpolasi.

Angka kelangsingan kolom pada contoh 1 = 129,082 terletak di antara harga angka kelangsingan 131,422 dan 125,827 pada tabel diatas.

**Perhitungan modulus tangen dan tegangan kritis :**

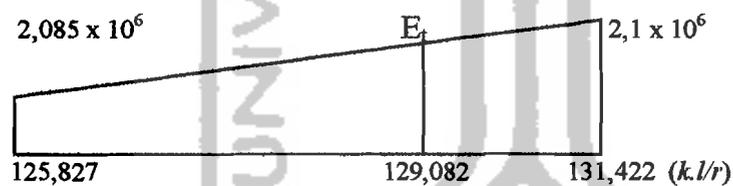
$$k.l/r = 131,422$$

$$F_{cr} = 1200 \text{ kg/cm}^2$$

$$k.l/r = 125,827$$

$$F_{cr} = 1300 \text{ kg/cm}^2$$

**Perhitungan Modulus Tangen dengan interpolasi :**



Interpolasi Modulus Tangen pada  $l/r = 129,082$

$$E_t = 2,085 \cdot 10^6 + \frac{(129,082 - 125,827) \times (2,1 \cdot 10^6 - 2,085 \cdot 10^6)}{(131,422 - 125,827)}$$

$$= 2,0937 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

**Menentukan harga Fcr dan Pcr :**

**Untuk harga e = 0,00b :**

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E_t}{(kI/r)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 2,0937 \cdot 10^6}{129,082^2}$$

$$= 1240,1746 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1240,1746 / \left( \frac{1}{66,452} + 0 \right)$$

$$= 1240,1746 \times 66,452 = 82412,0825 \text{ kg}$$

**Untuk harga e = 0,001b      e = 0,01524 cm**

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{AI^2}$$

$$= 1240,1746 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1240,1746 / \left( \frac{1}{66,452} + \frac{0,01524 \times 7,62}{636,834} \right)$$

$$= 1240,1746 / 0,01523 = 81425,3905 \text{ kg}$$

**Untuk harga e = 0,002b      e = 0,03048 cm**

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{AI^2}$$

$$= 1240,1746 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1240,1746 / \left( \frac{1}{66,452} + \frac{0,03048 \times 7,62}{636,834} \right)$$

$$= 1240,1746 / 0,01540 = 80530,8182 \text{ kg}$$

Untuk harga  $e = 0,003b$        $e = 0,04572 \text{ cm}$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{A \cdot l^2}$$

$$= 1240,1746 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1240,1746 / \left( \frac{1}{66,452} + \frac{0,04572 \times 7,62}{636,834} \right)$$

$$= 1240,1746 / 0,01559 = 79549,3650 \text{ kg}$$

Untuk harga  $e = 0,004b$        $e = 0,0696 \text{ cm}$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{A \cdot l^2}$$

$$= 1240,1746 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1240,1746 / \left( \frac{1}{66,452} + \frac{0,0696 \times 7,62}{636,834} \right)$$

$$= 1240,1746 / 0,01588 = 78096,6373 \text{ kg}$$

Untuk harga  $e = 0,005b$        $e = 0,0762 \text{ cm}$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{A \cdot l^2}$$

$$= 1240,1746 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1240,1746 / \left( \frac{1}{66,452} + \frac{0,0762 \times 7,62}{636,834} \right)$$

$$= 1240,1746 / 0,01596 = 77705,1754 \text{ kg}$$

Untuk harga  $e = 0,1b$   $e = 1,524 \text{ cm}$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{A I^2}$$

$$= 1240,1746 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1240,1746 / \left( \frac{1}{66,452} + \frac{1,524 \times 7,62}{636,834} \right)$$

$$= 37260,619 \text{ kg}$$

Untuk harga  $e = 0,12b$   $e = 1,8288 \text{ cm}$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{A I^2}$$

$$= 1240,1746 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1240,1746 / \left( \frac{1}{66,452} + \frac{1,8288 \times 7,62}{636,834} \right)$$

$$= 33580,9876 \text{ kg}$$

Untuk harga  $e = 0,14b$        $e = 2,1336 \text{ cm}$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{A \cdot l^2}$$

$$= 1240,1746 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1240,1746 / \left( \frac{1}{66,452} + \frac{2,1336 \times 7,62}{636,834} \right)$$

$$= 30562,792 \text{ kg}$$

Untuk harga  $e = 0,1667b$        $e = 2,54 \text{ cm}$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{A \cdot l^2}$$

$$= 1240,1746 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1240,1746 / \left( \frac{1}{66,452} + \frac{2,54 \times 7,62}{636,834} \right)$$

$$= 27292,1679 \text{ kg}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, diambil kondisi umum dengan mengabaikan kondisi ujung dan panjang kolom, jadi langsung mengambil harga angka kelangsingan yang bervariasi dengan interval 10 pada kondisi eksentrisitas tertentu, yang selanjutnya akan ditabelkan dan akan ditampilkan dalam grafik hubungan antara tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) dengan angka kelangsingan ( $k \cdot l/r$ ) dan juga grafik hubungan antara beban kritis ( $P_{cr}$ ) dengan angka kelangsingan ( $k \cdot l/r$ ).

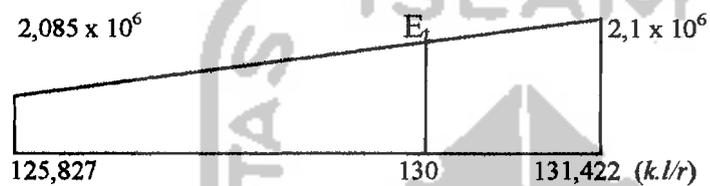
Perhitungan modulus tangen dan tegangan kritis pada kondisi yang umum

$k.l/r = 130$ , terletak di antara :

$$k.l/r = 131,422 \quad E_t = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$k.l/r = 125,827 \quad E_t = 2,085 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

Interpolasi modulus tangen :



Interpolasi Modulus Tangen pada  $k.l/r = 130$

$$E_t = 2,085 \cdot 10^6 + \frac{(130 - 125,827) \times (2,1 \cdot 10^6 - 2,085 \cdot 10^6)}{(131,422 - 125,827)}$$

$$= 2,096 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

Menentukan harga  $P_{cr}$  :

Untuk harga  $e = 0,00b$  :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_t}{(k.l/r)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 2,096 \cdot 10^6}{130^2}$$

$$= 1224,1741 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1224,1741 / \left( \frac{1}{66,452} + 0 \right)$$

$$= 1224,1741 \times 66,452 = 81348,8173 \text{ kg}$$

Untuk harga  $e = 0,001b$        $e = 0,01524 \text{ cm}$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{A \cdot l^2}$$

$$= 1224,1741 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1224,1741 / \left( \frac{1}{66,452} + \frac{0,01524 \times 7,62}{636,834} \right)$$

$$= 1224,1741 / 0,01523 = 80379,1267 \text{ kg}$$

Untuk harga  $e = 0,002b$        $e = 0,03048 \text{ cm}$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{A \cdot l^2}$$

$$= 1224,1741 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1224,1741 / \left( \frac{1}{66,452} + \frac{0,03048 \times 7,62}{636,834} \right)$$

$$= 1224,1741 / 0,01541 = 79440,2401 \text{ kg}$$

Untuk harga  $e = 0,003b$        $e = 0,04572 \text{ cm}$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{A \cdot l^2}$$

$$= 1224,1741 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1224,1741 / \left( \frac{1}{66,452} + \frac{0,04572 \times 7,62}{636,834} \right)$$

$$= 1224,1741 / 0,01559 = 78523,0340 \text{ kg}$$

Untuk harga  $e = 0,004b$        $e = 0,0696 \text{ cm}$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{A \cdot l^2}$$

$$= 1224,1741 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1224,1741 / \left( \frac{1}{66,452} + \frac{0,0696 \times 7,62}{636,834} \right)$$

$$= 1224,1741 / 0,01588 = 77089,0491 \text{ kg}$$

Untuk harga  $e = 0,005b$        $e = 0,0762 \text{ cm}$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{A \cdot l^2}$$

$$= 1224,1741 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1224,1741 / \left( \frac{1}{66,452} + \frac{0,0762 \times 7,62}{636,834} \right)$$

$$= 1224,1741 / 0,01596 = 76702,6378 \text{ kg}$$

Untuk harga  $e = 0,1b$        $e = 1,524 \text{ cm}$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{A \cdot l^2}$$

$$= 1224,1741 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1224,1741 / \left( \frac{1}{66,452} + \frac{1,524 \times 7,62}{636,834} \right)$$

$$= 36779,8901 \text{ kg}$$

Untuk harga  $e = 0,12b$        $e = 1,8288 \text{ cm}$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{A \cdot I^2}$$

$$= 1224,1741 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1224,1741 / \left( \frac{1}{66,452} + \frac{1,8288 \times 7,62}{636,834} \right)$$

$$= 33147,7319 \text{ kg}$$

Untuk harga  $e = 0,14b$        $e = 2,1336 \text{ cm}$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{A \cdot I^2}$$

$$= 1224,1741 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = 1224,1741 / \left( \frac{1}{66,452} + \frac{2,1336 \times 7,62}{636,834} \right)$$

$$= 30168,4768 \text{ kg}$$

Untuk harga  $e = 0,1667$        $e = 2,54 \text{ cm}$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_t \cdot I}{A \cdot I^2}$$

$$= 1224,1741 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} Pcr &= 1224,1741 / \left( \frac{1}{66,452} + \frac{2,54 \times 7,62}{636,834} \right) \\ &= 26940,0495 \text{ kg} \end{aligned}$$

Selanjutnya hasil perhitungan dicantumkan ke dalam tabel di bawah ini :



Tabel 4.3. Perhitungan Fcr dan Pcr pada keadaan  $e = 0,00b = 0$  cm

Keadaan $e = 0,00b$			
$k.l/r$	$E_t$ ( $\times 10^6$ kg/cm <sup>2</sup> )	Fcr (kg/cm <sup>2</sup> )	Pcr (kg)
40	0,376	2319,357	154125,9114
50	0,571	2252,2437	149666,0984
60	0,788	2160,3467	143559,3589
70	1,023	2060,5317	136926,4525
80	1,267	1953,8732	129838,7819
90	1,506	1835,0153	121940,4367
100	1,727	1704,4807	113266,1515
110	1,909	1557,1136	103474,642
120	2,042	1399,7057	93013,2430
130	2,096	1224,1741	81348,8173
131,422	2,100	1200,0000	79742,4000

Tabel 4.4. Perhitungan  $F_{cr}$  dan  $P_{cr}$  pada keadaan  $e = 0,001b = 0,01524 \text{ cm}$ 

Keadaan $e = 0,001b$		$e = 0,01524 \text{ cm}$	
$k.l/r$	$E_t \text{ (x10}^6 \text{ kg/cm}^2\text{)}$	$F_{cr} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$P_{cr} \text{ (kg)}$
40	0,376	2319,357	152288,7065
50	0,571	2252,2437	147882,0552
60	0,788	2160,3467	141848,1090
70	1,023	2060,5317	135294,2639
80	1,267	1953,8732	128291,0834
90	1,506	1835,0153	120486,8877
100	1,727	1704,4807	111916,0013
110	1,909	1557,1136	102239,8949
120	2,042	1399,7057	87964,9179
130	2,096	1224,1741	80379,1267
131,422	2,100	1200,0000	78791,8582

Tabel 4.5. Perhitungan  $F_{cr}$  dan  $P_{cr}$  pada keadaan  $e = 0,002b = 0,03048$  cm

Keadaan $e = 0,002b$ $e = 0,03048$ cm			
$k.l/r$	$E_t$ ( $\times 10^6$ kg/cm <sup>2</sup> )	$F_{cr}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$P_{cr}$ (kg)
40	0,376	2319,357	150607,5974
50	0,571	2252,2437	146249,5909
60	0,788	2160,3467	140282,2532
70	1,023	2060,5317	133800,7597
80	1,267	1953,8732	126874,8831
90	1,506	1835,0153	119156,8377
100	1,727	1704,4807	110680,5649
110	1,909	1557,1136	101111,2727
120	2,042	1399,7057	90889,9805
130	2,096	1224,1741	79491,8247
131,422	2,100	1200,0000	77922,0779

Tabel 4.6. Perhitungan  $F_{cr}$  dan  $P_{cr}$  pada keadaan  $e = 0,003b = 0,04572 \text{ cm}$ 

$k.l/r$	Keadaan $e = 0,003b$		$e = 0,04572 \text{ cm}$
	$E_t (\times 10^6 \text{ kg/cm}^2)$	$F_{cr} (\text{kg/cm}^2)$	$P_{cr} (\text{kg})$
40	0,376	2319,357	148772,0975
50	0,571	2252,2437	144467,2033
60	0,788	2160,3467	138572,5914
70	1,023	2060,5317	132170,0898
80	1,267	1953,8732	125328,6209
90	1,506	1835,0153	117704,6376
100	1,727	1704,4807	109331,6677
110	1,909	1557,1136	99878,9994
120	2,042	1399,7057	89782,2771
130	2,096	1224,1741	78523,0340
131,422	2,100	1200,0000	76972,4182

Tabel 4.7. Perhitungan  $F_{cr}$  dan  $P_{cr}$  pada keadaan  $e = 0,004b = 0,0696 \text{ cm}$ 

$k.l/r$	Keadaan $e = 0,004b$		$e = 0,0696 \text{ cm}$
	$E_t$ ( $\times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ )	$F_{cr}$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	$P_{cr}$ (kg)
40	0,376	2319,357	146055,2267
50	0,571	2252,2437	141828,9484
60	0,788	2160,3467	136041,9836
70	1,023	2060,5317	129756,4043
80	1,267	1953,8732	123039,8741
90	1,506	1835,0153	115555,1196
100	1,727	1704,4807	107335,0567
110	1,909	1557,1136	98055,0126
120	2,042	1399,7057	88142,6763
130	2,096	1224,1741	77089,0491
131,422	2,100	1200,0000	75566,7506

Tabel 4.8. Perhitungan  $F_{cr}$  dan  $P_{cr}$  pada keadaan  $e = 0,005b = 0,0762 \text{ cm}$ 

$k.l/r$	Keadaan $e = 0,005b$		$e = 0,0762 \text{ cm}$
	$E_t$ ( $\times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ )	$F_{cr}$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	$P_{cr}$ (kg)
40	0,376	2319,357	145323,1203
50	0,571	2252,2437	141118,0263
60	0,788	2160,3467	135360,0689
70	1,023	2060,5317	129105,9962
80	1,267	1953,8732	122423,1328
90	1,506	1835,0153	114975,8960
100	1,727	1704,4807	106797,0363
110	1,909	1557,1136	97563,5088
120	2,042	1399,7057	87700,8584
130	2,096	1224,1741	76702,6378
131,422	2,100	1200,0000	75187,9699

Tabel 4.9. Perhitungan  $F_{cr}$  dan  $P_{cr}$  pada keadaan  $e = 0,1b = 1,524 \text{ cm}$ 

Keadaan $e = 0,1b$ $e = 1,524 \text{ cm}$			
$k.l/r$	$E_t (\times 10^6 \text{ kg/cm}^2)$	$F_{cr} (\text{kg/cm}^2)$	$P_{cr} (\text{kg})$
40	0,376	2319,357	69684,2839
50	0,571	2252,2437	67667,8879
60	0,788	2160,3467	64906,8742
70	1,023	2060,5317	61907,9668
80	1,267	1953,8732	58703,4488
90	1,506	1835,0153	55132,4041
100	1,727	1704,4807	51210,5369
110	1,909	1557,1136	46782,9429
120	2,042	1399,7057	42053,6767
130	2,096	1224,1741	36779,8901
131,422	2,100	1200,0000	36053,5876

Tabel 4.10. Perhitungan  $F_{cr}$  dan  $P_{cr}$  pada keadaan  $e = 0,12b = 1,8288 \text{ cm}$ 

Keadaan $e = 0,12b$		$e = 1,8288 \text{ cm}$	
$k.l/r$	$E_r (x10^6 \text{ kg/cm}^2)$	$F_{cr} (\text{kg/cm}^2)$	$P_{cr} (\text{kg})$
40	0,376	2319,357	62802,6881
50	0,571	2252,2437	60985,4191
60	0,788	2160,3467	58497,0662
70	1,023	2060,5317	55794,3127
80	1,267	1953,8732	52906,2209
90	1,506	1835,0153	49687,8633
100	1,727	1704,4807	46153,2958
110	1,909	1557,1136	42162,9442
120	2,042	1399,7057	37900,7115
130	2,096	1224,1741	33147,7319
131,422	2,100	1200,0000	32493,1547

Tabel 4.11. Perhitungan  $F_{cr}$  dan  $P_{cr}$  pada keadaan  $e = 0,14b = 2,1336 \text{ cm}$ 

Keadaan $e = 0,14b$ $e = 2,1336 \text{ cm}$			
$k.l/r$	$E_t$ ( $\times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ )	$F_{cr}$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	$P_{cr}$ (kg)
40	0,376	2319,357	57158,1017
50	0,571	2252,2437	55504,1654
60	0,788	2160,3467	53239,4609
70	1,023	2060,5317	50779,6258
80	1,267	1953,8732	48151,1398
90	1,506	1835,0153	45222,0124
100	1,727	1704,4807	42005,1252
110	1,909	1557,1136	38373,4188
120	2,042	1399,7057	34494,2675
130	2,096	1224,1741	30168,47676
131,422	2,100	1200,0000	29572,7316

Tabel 4.12. Perhitungan  $F_{cr}$  dan  $P_{cr}$  pada keadaan  $e = 0,1667b = 2,54$  cm

Keadaan $e = 0,1667b$ $e = 2,54$ cm			
$k.l/r$	$E_t$ ( $\times 10^6$ kg/cm <sup>2</sup> )	$F_{cr}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$P_{cr}$ (kg)
40	0,376	2319,357	51041,4264
50	0,571	2252,2437	49564,4832
60	0,788	2160,3467	47542,5789
70	1,023	2060,5317	45345,5321
80	1,267	1953,8732	42998,3289
90	1,506	1835,0153	40382,6571
100	1,727	1704,4807	37510,0195
110	1,909	1557,1136	34266,9538
120	2,042	1399,7057	30802,9232
130	2,096	1224,1741	26940,0495
131,422	2,100	1200,0000	26408,0569

### 4.3. Pembahasan

Hasil perhitungan dan analisis kekuatan kolom baja terhadap pembebanan eksentris menunjukkan bahwa kekuatan kolom baja pada kondisi tekuk inelastis ditentukan dengan memperhitungkan sebagian serat penampang yang telah meleleh, sehingga modulus elastisitas bahan ( $E$ ) pada persamaan kekuatan Euler untuk kondisi elastis tidak dapat digunakan dan harus diganti dengan modulus tangen ( $E_t$ ). Nilai  $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$  dan nilai  $F_p$  (tegangan proporsional) didapatkan dari grafik kekuatan kolom yang merupakan batas antara kondisi elastis dan kondisi inelastis. Nilai  $F_p = 0,5 \cdot F_y$ . Sedangkan  $F_{cr}$  (tegangan kritis) ditentukan dari tegangan kritis maksimum untuk batang elastis yaitu 50 % dari tegangan leleh yang berangsur-angsur nilainya berubah secara konstan (interval 100) sampai pada nilai  $F_y$ .

Selanjutnya perhitungan harga modulus tangen ( $E_t$ ) ditabelkan pada Tabel 4.1. Dengan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) yang bervariasi akan didapatkan nilai modulus tangen yang bervariasi juga.

Penentuan batas kolom panjang dan kolom sedang (batas daerah elastis dan inelastis) yang didasarkan atas angka kelangsingan kritis ( $C_c$ ). Angka kelangsingan kritis ( $C_c$ ) akan terjadi pada saat tegangan mencapai batas tegangan kritis untuk batang elastis. Pada hasil analisa perhitungan di atas  $F_{cr} = 0,5 \cdot F_y = 1200 \text{ kg/cm}^2$ , sehingga didapatkan  $C_c = 131,422$  yang merupakan batas elastis-inelastis. Apabila angka kelangsingan ( $k.l/r$ ) lebih besar dari 131,422, maka kolom baja akan bersifat elastis (berperilaku sebagai kolom langsing) dan angka kelangsingan ( $k.l/r$ ) lebih kecil 131,422 kolom baja akan bersifat inelastis (kolom

berperilaku sebagai kolom sedang). Dalam penentuan batas daerah elastis dan daerah inelastis faktor yang menentukan adalah besarnya  $F_y$  (tegangan leleh bahan), dengan  $F_y$  yang sama akan didapatkan batas kelangsingan yang sama juga. Sehingga untuk semua profil baja dengan tegangan leleh bahan  $2400 \text{ kg/cm}^2$  akan mempunyai batas kelangsingan kritis ( $C_c$ ) = 131,422.

Menentukan kondisi ujung perletakan kolom adalah didasarkan atas daftar perletakan ujung untuk kondisi ujung sendi-sendi dengan nilai  $k = 1$  (dari Tabel 3.1). Dengan kondisi perletakan ujung yang demikian didapatkan angka kelangsingan ( $k.l/r$ ) sebesar 129,082 yang mana angka kelangsingan kolom baja tersebut terletak di bawah angka kelangsingan kritisnya. Angka kelangsingan di sini diperoleh dari kondisi perletakan ujung, panjang kolom dan radius (jari-jari) bahan.

Analisa dan perhitungan kekuatan kolom baja terhadap pembebanan eksentris pada kondisi tekuk inelastis diadakan penentuan angka kelangsingan yang didasarkan pada tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) dan modulus tangen ( $E_t$ ).

Perhitungan angka kelangsingan ( $k.l/r$ ) yang terjadi pada setiap tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) dan modulus tangen ( $E_t$ ) yang berubah-ubah yang kemudian disajikan ke dalam tabel. Kegunaan dari tabel ini adalah menunjukkan daerah/ batas angka kelangsingan profil yang berada pada interval tertentu. Pada analisa dan perhitungan kolom baja profil W 18x 35 dengan angka kelangsingan 129,082 adalah berada di antara angka kelangsingan 131,422 dengan nilai modulus tangen ( $E_t$ )  $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  dan angka kelangsingan 125,827 dengan nilai modulus tangen ( $E_t$ )  $2,085 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ . Dengan interpolasi linier didapatkan nilai

modulus tangen ( $E_t$ )  $2,0937 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  pada angka kelangsingan 129,082. Dengan tabel perhitungan modulus tangen tersebut, nilai  $F_{cr}$  hanya dipergunakan sebagai pedoman untuk mencari angka kelangsingan terjadi, dan tidak dapat dipergunakan untuk mencari  $F_{cr}$  yang terjadi pada profil (interpolasi  $F_{cr}$  tidak dapat digunakan), sehingga pada perhitungan harus didasarkan pada besarnya modulus tangen ( $E_t$ ) yang terjadi. Dengan demikian akan didapatkan harga tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) profil yang terjadi sebesar  $1240,1746 \text{ kg/cm}^2$ .

Dalam perhitungan diasumsikan eksentrisitas sebesar  $0,00b$  sampai dengan  $0,005b$  yang masih terdapat di dalam daerah kern, untuk arah sumbu lemah batas kern adalah sebesar  $5,08 \text{ cm}$  dan untuk arah sumbu kuat sebesar  $17,63 \text{ cm}$ . Dasar pengambilan eksentrisitas terhadap lebar sayap ( $b$ ) adalah diperhitungkan bahwa kolom hanya akan mengalami tekuk terhadap sumbu lemah. Perilaku kolom yang menerima beban dengan eksentrisitas kecil (eksentrisitas dalam daerah kern,  $e_{\max} = 2,54 \text{ cm}$ ) merupakan kolom murni. Sedangkan apabila eksentrisitas relatif besar (eksentrisitas di luar daerah kern,  $e > 2,54 \text{ cm}$ ), maka perilaku kolom akan berubah menjadi balok-kolom. Tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) yang terjadi merupakan tegangan maksimum yang bekerja pada penampang profil kolom. Terlihat di dalam tabel yang kemudian diplotkan ke dalam grafik hubungan antara tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) dengan angka kelangsingan ( $k.l/r$ ) pada kondisi tanpa eksentrisitas. Beban kritis ( $P_{cr}$ ) merupakan beban maksimum yang dapat ditahan oleh kolom sebelum kolom mengalami kehancuran akibat tekuk. Beban kritis ini akan berubah-ubah menurut besarnya eksentrisitas. Semakin besar nilai

eksentrisitas, maka semakin kecil beban yang dapat dipikul oleh kolom. Dengan kata lain, nilai eksentrisitas sangat berpengaruh bagi penentuan beban kritis.

Dalam perhitungan selanjutnya kondisi perletakan ujung diabaikan dan langsung diambil nilai angka kelangsingan (dalam kondisi yang umum). Hal ini dimaksudkan agar analisa dan perhitungan tidak hanya berlaku pada kondisi perletakan ujung sendi-sendai melainkan pada semua jenis tumpuan.

Analisa dan perhitungan kekuatan kolom baja terhadap pembebanan eksentris pada kondisi tekuk inelastis dalam kondisi yang umum ini dilakukan dengan cara :

- a) Menentukan interval angka kelangsingan.
- b) Menentukan nilai modulus tangen ( $E_t$ ) dari hasil interpolasi.
- c) Menentukan nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) dan beban kritis ( $P_{cr}$ ) dalam berbagai kondisi eksentrisitas.
- d) Pembuatan tabel nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ), beban kritis ( $P_{cr}$ ) dan angka kelangsingan ( $k.l/r$ ) terjadi.
- e) Pembuatan grafik hubungan tegangan kritis – angka kelangsingan dan hubungan beban kritis – angka kelangsingan.

Selanjutnya nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) dan angka kelangsingan ( $k.l/r$ ) diplotkan sebagai grafik hubungan tegangan kritis dan angka kelangsingan, yang mana terlihat pada grafik tersebut bahwa semakin kecil angka kelangsingan kolom baja, maka akan semakin besar tegangan yang terjadi pada penampang profil kolom baja tersebut. Demikian juga pada grafik hubungan beban kritis – angka kelangsingan, bahwa makin kecil angka kelangsingan makin besar beban yang

dapat ditahan oleh kolom dan semakin besar nilai eksentrisitas maka beban yang dapat ditahan kolom semakin kecil.

Pada grafik hubungan tegangan dan angka kelangsingan di atas juga terlihat adanya batas antara kolom pendek dengan kolom sedang. Pada angka kelangsingan 40, terjadi nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) sebesar  $2319,357 \text{ kg/cm}^2$  yang nilainya mendekati tegangan leleh bahan ( $F_y$ ) sebesar  $2400 \text{ kg/cm}^2$ . Hal ini menunjukkan bahwa kolom sudah berada pada daerah kolom pendek.

Pada kolom pendek beban maksimum yang dapat dipikul ditentukan oleh hancurnya material bukan oleh tekuk, sehingga tegangan kritis yang terjadi akan mendekati tegangan lelehnya ( $F_{cr} \approx F_y$ ).

Terlihat di dalam Tabel 4.3 bahwa harga tegangan kritis yang terjadi ( $F_{cr}$ ) sebesar  $2319,357 \text{ kg/cm}^2$  adalah mendekati harga tegangan leleh bahan ( $F_y$ ) dalam hal ini sebesar  $2400 \text{ kg/cm}^2$ .

Harga tegangan kritis yang terjadi pada kolom baja yang mendekati harga tegangan leleh bahan baja tersebut menunjukkan bahwa pada saat itu kehancuran kolom ditentukan oleh kekuatan kolom baja dan bukan lagi ditentukan oleh tekuk yang terjadi. Dengan kata lain, batas kolom pendek dan kolom sedang adalah pada saat harga tegangan kritis yang terjadi ( $F_{cr}$ ) adalah mendekati harga tegangan leleh bahannya ( $F_y$ ).

Ditunjukkan di dalam tabel-tabel di atas, bahwa pada saat harga tegangan kritis yang terjadi telah mendekati harga tegangan leleh bahannya ( $F_{cr} \approx F_y$ ), angka kelangsingan yang terjadi ( $k.l/r$ ) adalah sebesar 40. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa pada saat harga tegangan kritis yang terjadi mendekati harga

tegangan leleh bahannya, angka kelangsingan bahan adalah minimum yaitu sebesar  $k.l/r = 40$ , yang sekaligus merupakan batas kolom pendek dan kolom sedang. Apabila angka kelangsingan kolom lebih kecil dari 40, maka kolom tersebut merupakan kolom pendek. Apabila angka kelangsingan kolom lebih besar dari 40 dan lebih kecil dari angka kelangsingan batas ( $C_c$ ), maka kolom tersebut merupakan kolom sedang.

