

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

Bab landasan teori pada laporan penelitian ini adalah mengenai teori – teori yang relevan sebagai alat maupun acuan di dalam analisis penelitiannya. Bab landasan teori pada penelitian ini memuat tentang teori – teori maupun rumus – rumus yang relevan tentang mekanika bahan (balok kayu) dan konsep prategang.

#### **3.1 Balok Kayu**

Balok adalah elemen struktur yang selalu ada pada suatu bangunan, sehingga perlu diperhatikan dalam perencanaannya. Bentuk, ukuran maupun jenisnya adalah hal yang penting karena akan mempengaruhi analisis perhitungan dalam perencanaannya.

##### **3.1.1 Pengaruh Sambungan**

Luas penampang akan terkoreksi jika ada lubang akibat sambungan (digunakan luas netto) karena terjadi pengurangan luas penampang dan terjadi konsentrasi tegangan pada daerah sekitar lubang. Besar perlemahan-perlemahan yang terjadi digunakan untuk menentukan luas penampang dari batang.

Adapun Frick (1982) menyatakan, besarnya perlemahan untuk beberapa macam sambungan diambil sebesar :

1. (10 – 15) % untuk sambungan dengan paku,
2. (20 – 25) % untuk sambungan dengan baut dan sambungan gigi,

3. 20 % untuk sambungan dengan kokot atau cincin belah,
4. 30 % untuk sambungan dengan pasak kayu, dan
5. 0 % untuk sambungan dengan perekat.

### 3.1.2 Balok Tarik

Perilaku yang terjadi pada batang yang mengalami gaya tarik axial tidak sekompleks pada batang tekan, karena balok yang mengalami gaya ini akan terjadi tegangan yang besarnya dipengaruhi oleh gaya yang bekerja dan luas penampangnya.

Rumus untuk mencari tegangan tarik searah serat diberikan pada persamaan ( 3.1 ) (Daryanto, 1996)

$$\sigma_{ir} = \frac{P}{A_n} \leq \bar{\sigma}_{ir//} \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan :

- $\sigma_{ir}$  = tegangan tarik (kg/cm<sup>2</sup>),  
 $\bar{\sigma}_{ir//}$  = tegangan ijin tarik searah serat (kg/cm<sup>2</sup>),  
 $P$  = gaya tarik (kg) dan  
 $A_n$  = luas penampang netto.

Adapun luas penampangnya akan terkoreksi jika ada lubang akibat sambungan (digunakan luas netto) karena terjadi pengurangan luas penampang dan terjadi konsentrasi tegangan pada daerah sekitar lubang.

### 3.1.3 Balok Desak

Batang yang didesak akan mengalami bahaya tekuk yang dipengaruhi oleh angka kelangsingan ( $\lambda$ ) dan faktor tekuk ( $\omega$ ). Dianalogikan bahwa perilaku balok dan kolom yang didesak adalah sama, sehingga penggunaan rumus pada kolom yang didesak dapat dipakai untuk balok yang didesak.

Di dalam perencanaan, suatu batang desak dianggap lebih dulu bahwa batang itu mengikuti rumus Euler, kemudian apabila perlu ukuran-ukuran yang ditentukan menurut rumus Euler dapat diubah (Suwarno, 1976) :

$$P_{tk} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot L_{tk}^2} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$I_{min} = \frac{n \cdot P_{tk} \cdot L_{tk}^2}{\pi^2 \cdot E} \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan :

- $P_{tk}$  = beban tekuk ( $\text{kg/cm}^2$ ),
- $E$  = modulus elastis ( $\text{kg/cm}^2$ ),
- $I$  = inersia momen ( $\text{cm}^4$ ),
- $n$  = jumlah kelengkungan dan
- $L_{tk}$  = panjang tekuk (cm).

Jika  $\pi^2 = 10$  dan untuk kayu kelas II dengan  $E = 100.000 \text{ kg/cm}^2$

Maka akan terdapat rumus  $I_{min} = 10 \cdot n \cdot P_{tk} \cdot L_{tk}^2$

Untuk  $n = 5$

$I_{min} = 40 \cdot n \cdot P_{tk} \cdot L_{tk}^2$  (untuk kayu kelas kuat I) dengan  $E = 125.000 \text{ kg/cm}^2$

$I_{min} = 50 \cdot n \cdot P_{tk} \cdot L_{tk}^2$  (untuk kayu kelas kuat II) dengan  $E = 100.000 \text{ kg/cm}^2$

$$I_{\min} = 60.n.P_{tk}.L_{tk}^2 \text{ (untuk kayu kelas kuat III) dengan } E = 80.000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Untuk balok persegi panjang } I_{\min} = \frac{1}{12}b^3h$$

Bahwa yang dimaksud dengan nilai kelangsingan ( $\lambda$ ) dirumuskan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{L_{tk}}{r} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$r = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan :

- $L_{tk}$  = panjang tekuk (cm),
- $\lambda$  = angka kelangsingan,
- $A$  = luas penampang (cm<sup>2</sup>) dan
- $r$  = jari-jari lembam minimum.

Untuk menghindari bahaya tekuk pada batang desak, gaya yang didukung oleh batang itu harus digandakan dengan faktor tekuk  $\omega$ , yaitu sebuah faktor yang besarnya tergantung pada  $\lambda$ .

Maka rumus tegangan desak sesuai dengan PKKI 1961, pasal 11, ayat 5, menjadi seperti pada persamaan (3.6).

$$\sigma_{ds} = \frac{P.\omega}{A} \leq \bar{\sigma}_{ds//} \dots\dots\dots(3.6)$$

Keterangan :

- $\sigma_{ds}$  = tegangan desak (kg/cm<sup>2</sup>),
- $\bar{\sigma}_{ds//}$  = tegangan ijin desak searah serat (kg/cm<sup>2</sup>),
- $P$  = gaya desak (kg),

$\omega$  = faktor tekuk dan

$A$  = luas penampang ( $\text{cm}^2$ ).

Besar faktor tekuk ( $\omega$ ) sebagai fungsi dari pada  $\lambda$  didapat dari Tabel 3.1, sesuai dengan Daftar III PKKI 1961.

**Tabel 3.1** Faktor tekuk ( $\omega$ ) dan tegangan ijin ( $\sigma_{ds}$ ) untuk batang desak kayu

$\lambda$	Faktor tekuk $\omega$	Tegangan tekuk yg diperkenankan dengan kelas kuat				$\lambda$	Faktor tekuk $\omega$	Tegangan tekuk yg diperkenankan dengan kelas kuat			
		I kg/cm <sup>2</sup>	II kg/cm <sup>2</sup>	III kg/cm <sup>2</sup>	IV kg/cm <sup>2</sup>			I kg/cm <sup>2</sup>	II kg/cm <sup>2</sup>	III kg/cm <sup>2</sup>	IV kg/cm <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
0	1.00	130	85	60	45	76	2.03	64	42	30	22
1	1.01	129	84	60	45	77	2.05	63	42	29	22
2	1.01	128	84	59	45	78	2.08	63	41	29	22
3	1.02	127	83	59	44	79	2.11	62	40	28	21
4	1.03	126	83	58	44	80	2.14	61	40	28	21
5	1.03	126	82	58	44	81	2.17	60	39	28	21
6	1.04	125	82	58	43	82	2.21	59	39	27	20
7	1.05	124	81	57	43	83	2.24	58	38	27	20
8	1.06	123	80	57	43	84	2.27	57	37	26	20
9	1.06	122	80	57	43	85	2.31	56	37	26	20
10	1.07	121	79	56	42	86	2.34	56	36	26	19
11	1.08	120	79	56	42	87	2.38	55	36	25	19
12	1.09	119	78	55	41	88	2.42	54	35	25	19
13	1.09	119	78	55	41	89	2.46	53	35	24	18
14	1.10	118	77	55	41	90	2.50	52	34	24	18
15	1.11	117	77	54	41	91	2.54	51	33	24	18
16	1.12	116	76	54	40	92	2.58	50	33	23	17
17	1.13	115	75	53	40	93	2.63	49	32	22	17
18	1.14	114	75	53	40	94	2.68	49	32	22	17
19	1.15	113	74	52	39	95	2.73	48	31	22	17
20	1.15	113	74	52	39	96	2.78	47	31	22	16
21	1.16	112	73	52	39	97	2.83	46	30	21	16
22	1.17	111	73	51	38	98	2.88	45	30	21	16
23	1.18	110	72	51	38	99	2.94	44	29	20	15
24	1.19	109	71	50	38	100	3.00	43	28	20	15
25	1.20	108	71	50	38	101	3.07	42	28	20	15
26	1.21	107	70	50	37	102	3.14	41	27	19	14
27	1.22	107	70	49	37	103	3.21	41	26	19	14
28	1.23	106	69	49	37	104	3.28	40	26	18	14
29	1.24	105	69	48	36	105	3.35	39	25	18	13
30	1.25	104	68	48	36	106	3.43	38	25	18	13
31	1.26	103	67	48	36	107	3.50	37	24	17	13

Tabel 3.1 Lanjutan

32	1.27	102	67	47	35	108	3.57	36	24	17	13
33	1.28	102	66	47	35	109	3.65	36	23	16	12
34	1.29	101	66	47	35	110	3.73	35	23	16	12
35	1.30	100	65	46	35	111	3.81	34	22	16	12
36	1.32	99	64	46	34	112	3.89	33	22	15	12
37	1.33	98	64	45	34	113	3.97	33	21	15	11
38	1.34	97	63	45	34	114	4.05	32	21	15	11
39	1.35	96	63	44	33	115	4.13	32	21	15	11
40	1.36	95	62	44	33	116	4.21	31	20	14	11
41	1.38	94	62	44	33	117	4.29	30	20	14	11
42	1.39	94	61	43	32	118	4.38	30	19	14	10
43	1.40	93	61	43	32	119	4.46	29	19	13	10
44	1.42	92	60	42	32	120	4.55	29	19	13	10
45	1.43	91	59	42	31	121	4.64	28	18	13	10
46	1.44	90	59	42	31	122	4.73	28	18	13	10
47	1.46	89	58	41	31	123	4.84	27	18	12	9
48	1.47	88	58	41	31	124	4.91	27	17	12	9
49	1.49	87	57	40	30	125	5.00	26	17	12	9
50	1.50	86	57	40	30	126	5.09	26	17	12	9
51	1.52	85	56	39	30	127	5.19	25	16	12	9
52	1.53	85	56	39	29	128	5.28	25	16	11	9
53	1.55	84	55	39	29	129	5.38	24	16	11	8
54	1.56	83	55	38	29	130	5.48	24	16	11	8
55	1.58	82	54	38	28	131	5.57	23	15	11	8
56	1.60	81	53	38	28	132	5.67	23	15	11	8
57	1.61	81	53	37	28	133	5.77	23	15	10	8
58	1.63	80	52	37	28	134	5.88	22	15	10	8
59	1.65	79	52	36	27	135	5.98	22	14	10	8
60	1.67	78	51	36	27	136	6.08	21	14	10	7
61	1.69	77	50	36	27	137	6.19	21	14	10	7
62	1.70	77	50	35	26	138	6.29	21	14	10	7
63	1.72	76	49	35	26	139	6.40	20	13	9	7
64	1.74	75	49	35	26	140	6.51	20	13	9	7
65	1.76	74	48	34	26	141	6.62	20	13	9	7
66	1.79	73	48	34	25	142	6.73	19	13	9	7
67	1.81	72	47	33	25	143	6.84	19	12	9	7
68	1.83	71	46	33	25	144	6.95	19	12	9	6
69	1.85	70	46	32	24	145	7.07	18	12	9	6
70	1.87	70	45	32	24	146	7.18	18	12	8	6
71	1.90	69	45	32	24	147	7.30	18	12	8	6
72	1.92	68	44	31	23	148	7.41	18	11	8	6
73	1.95	67	44	31	23	149	7.53	17	11	8	6
74	1.97	66	43	30	23	150	7.65	17	11	8	6
75	2.00	65	43	30	23						

(Sumber : Daftar III, PKKI 1961)

Oleh  $y_{1m}$  ini momen  $P \times e$  menerima tambahan lengkungan dan akan melengkung sedikit lagi sampai lengkungan maksimal pada pertengahan bentang menjadi :

$$y_m = y_{1m} \cdot \frac{1}{1 - \frac{P}{P_E}} = \frac{P \cdot e \cdot l^2}{8 \cdot EI} \times \frac{P_E}{P_E - P} \dots \dots \dots (3.11)$$

Jarak antara garis kerja gaya tekan P dan sumbu batang yang tertekan eksentris selanjutnya menjadi :

$$e + y_m = e + \frac{P \cdot e \cdot l^2}{8 \cdot EI} \times \frac{P_E}{P_E - P}$$

$$e + y_m = e \left( 1 + \frac{P \cdot l^2}{8 \cdot EI} \times \frac{P_E}{P_E - P} \right)$$

$$e + y_m = e \left( 1 + \frac{\pi^2}{8} \times \frac{P}{P_E} \times \frac{P_E}{P_E - P} \right) \text{ karena } P_E = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

$$e + y_m = e \cdot \frac{P_E + 0,234 \cdot P}{P_E - P}$$

Sehingga tegangan aktual harus lebih kecil atau sama dengan tegangan izin.

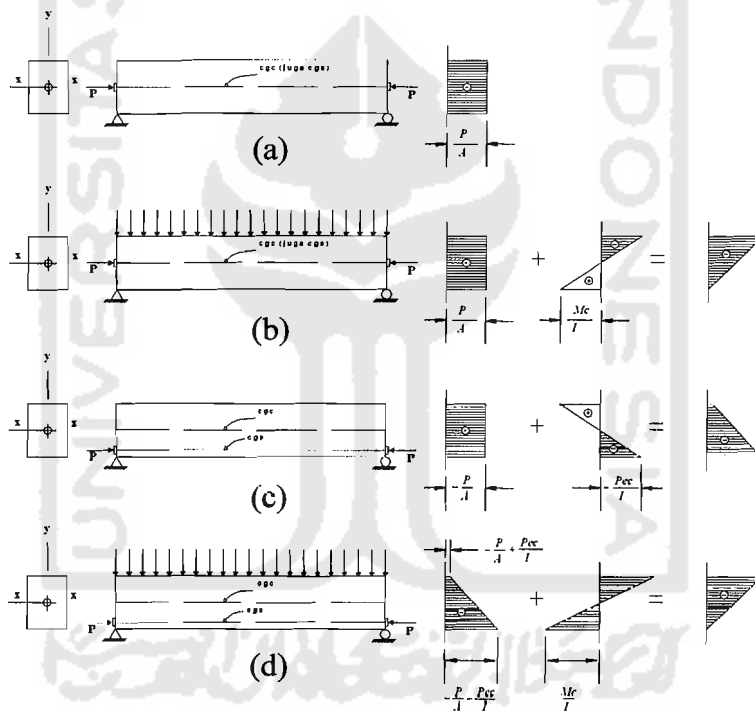
$$\sigma_{tk \text{ maks}} = \frac{P}{F} + \frac{P \cdot e}{W} \cdot \frac{P_E + 0,468 \cdot P}{P_E - 2P} \leq \bar{\sigma}_{tk} \dots \dots \dots (3.12)$$

Keterangan :

- $P$  = gaya desak (kg),
- $F$  = luas penampang (cm<sup>2</sup>),
- $e$  = eksentrisitas (cm),
- $W$  = tahanan momen (cm<sup>3</sup>) dan
- $P_E$  = gaya desak menurut Euler (kg).

### 3.2 Konsep Dasar Prategang

Gaya prategang  $P$  yang memenuhi kondisi geometri dan pembebanan tertentu untuk elemen yang ditetapkan (lihat Gambar 3.1 ) ditentukan dari prinsip-prinsip mekanika dan hubungan tegangan - regangan, yang kadang-kadang dibutuhkan penyederhanaan seperti pada balok prategang yang diasumsikan bersifat homogen dan elastis (Nawy, 2001).



**Gambar 3.1** Distribusi tegangan serat balok persegi panjang dengan tendon lurus



Gambar 3.1.(a) adalah balok yang mengalami gaya prategang  $P$  konsentris, sehingga balok mengalami tegangan tekan yang ditunjukkan oleh persamaan (3.13) (Nawy, 2001).

$$f = -\frac{P}{A} \dots \dots \dots (3.13)$$

Keterangan :

- $f$  = Tegangan serat ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ),
- $P$  = Gaya prategang (kg) dan
- $A$  = Luas penampang balok ( $A = bh$ ) ( $\text{cm}^2$ ).

Gambar 3.1.(b) adalah balok yang mengalami gaya prategang konsentris dengan beban terbagi rata pada arah transversal sehingga tegangan yang terjadi dapat dirumuskan dan ditunjukkan oleh persamaan (3.14) dan (3.15) (Nawy, 2001).

$$f^t = -\frac{P}{A} - \frac{Mc}{I_g} \dots \dots \dots (3.14)$$

dan

$$f_b = -\frac{P}{A} + \frac{Mc}{I_g} \dots \dots \dots (3.15)$$

Keterangan :

- $f^t$  = tegangan di atas serat ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ),
- $f_b$  = tegangan di bawah serat ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ),
- $P$  = gaya prategang (kg),
- $M$  = momen akibat beban merata ( $\text{kg.cm}$ ),

- $I_g$  = momen inersia bruto penampang ( $bh^3/12$ ) ( $\text{cm}^4$ ),  
 $A$  = luas penampang ( $\text{cm}^2$ ) dan  
 $c$  =  $h/2$  untuk penampang persegi panjang (cm).

Pada kasus ini, tegangan tekan prategang  $-P/A$  mengurangi tegangan lentur tarik  $Mc/I$  sampai menjadi nol, namun demikian dapat saja direncanakan sedemikian sehingga sesuai dengan persyaratan. Dengan tujuan untuk meningkatkan kemampuan tarik balok maka tendon diletakkan secara eksentris di bawah sumbu netral di sepanjang bentang.

Pada Gambar 3.1.(c) dan (d) balok dengan dan tanpa beban terbagi rata dengan posisi tendon prategangnya *eksentris* dari pusat berat balok. Jarak dari pusat berat balok (disebut  $cgc$ ) ke pusat berat tendon (disebut  $cgs$ ) disebut eksentrisitas  $e$ , ini mengakibatkan momen  $Pe$  dan tegangan di tengah bentang menjadi seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (3.16) dan (3.17) (Nawy, 2001).

$$f' = -\frac{P}{A} + \frac{Pec}{I_g} - \frac{Mc}{I_g} \dots\dots\dots(3.16)$$

dan

$$f_b = -\frac{P}{A} - \frac{Pec}{I_g} + \frac{Mc}{I_g} \dots\dots\dots(3.17)$$

Keterangan :

- $f'$  = tegangan di atas serat ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ),  
 $f_b$  = tegangan di bawah serat ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ),  
 $P$  = gaya prategang (kg),

- $A$  = luas penampang ( $\text{cm}^2$ ),  
 $e$  = eksentrisitas (cm),  
 $c$  =  $h/2$  untuk penampang persegi panjang (cm),  
 $M$  = momen akibat beban merata ( $\text{kg/cm}^2$ ) dan  
 $I_g$  = momen inersia bruto penampang ( $bh^3/12$ ) ( $\text{cm}^4$ ).

Pada prinsipnya penerapan konsep prategang adalah untuk meningkatkan kuat lentur dengan memperkecil tegangan tarik yang terjadi pada serat yang mengalami tarik sampai dengan peraturan yang disyaratkan.

### 3.3 Analisa *Curve Fitting*

*Curve Fitting* yaitu kurva yang mewakili hasil penelitian dengan nilai kesalahan terkecil atau mengolah secara matematis sejumlah pasangan data diskrit hasil pengamatan (penelitian), dan menggambarannya dalam bentuk kurva dengan fungsi yang lebih sederhana.

Bentuk *curve fitting* ada 2 macam yaitu regresi kuadrat terkecil dengan fungsi linier dan fungsi non linier (polinomial) (Chopra, 1988).

#### 3.3.1 Regresi Kuadrat Terkecil dengan Fungsi Linier

Bentuk tersederhana regresi kuadrat terkecil adalah garis lurus, persamaan garis lurus secara umum berbentuk seperti berikut ini :

$$y = a_0 + a_1 x_i \dots \dots \dots (3.18)$$

$$Sr = \sum_{i=1}^m (y_i - a_0 - a_1 x_i)^2 \dots \dots \dots (3.19)$$

Keterangan :

$y$  = variabel tak bebas,

$x_i$  = variabel bebas,

$Sr$  = jumlah kuadrat kesalahan yang terjadi,

$a_0, a_1$  = parameter yang dicari dan

$m$  = jumlah data.

Selanjutnya, jika derivatif pertama  $Sr$  persamaan ( 3.19 ) terhadap  $a_0$  disamakan dengan nol akan diperoleh nilai parameter  $a_0$ , yaitu :

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_0} = \sum_{i=1}^m 2(y_i - a_0 - a_1 x_i)(-1) = 0$$

$$\sum_{i=1}^m (y_i - a_0 - a_1 x_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^m y_i - m a_0 - \sum_{i=1}^m a_1 x_i = 0$$

$$m a_0 = \sum_{i=1}^m y_i - \sum_{i=1}^m a_1 x_i$$

$$a_0 = \frac{1}{m} \left( \sum_{i=1}^m y_i - \sum_{i=1}^m a_1 x_i \right) \dots \dots \dots (3.20)$$

$$a_0 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m a_1 x_i$$

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x}_i \dots \dots \dots (3.21)$$

Sedangkan dari derivatif pertama persamaan ( 3.19 ) terhadap  $a_1$  yang disamakan dengan nol, kemudian dimasukkan kepersamaan ( 3.20 ), akan diperoleh nilai  $a_1$  yaitu :

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_r}{\partial a_1} &= \sum_{i=1}^m 2(y_i - a_0 - a_1 x_i)(-x_i) = 0 \\ \sum_{i=1}^m (y_i x_i - a_0 x_i - a_1 x_i^2) &= 0 \\ \sum_{i=1}^m y_i x_i - \sum_{i=1}^m a_0 x_i - \sum_{i=1}^m a_1 x_i^2 &= 0 \\ \sum_{i=1}^m a_1 x_i^2 &= \sum_{i=1}^m x_i y_i - \sum_{i=1}^m a_0 x_i \\ \sum_{i=1}^m a_1 x_i^2 &= \sum_{i=1}^m x_i y_i - \sum_{i=1}^m \left\{ \frac{1}{m} \left( \sum_{i=1}^m y_i - \sum_{i=1}^m a_1 x_i \right) \right\} x_i \\ m \sum_{i=1}^m a_1 x_i^2 &= m \sum_{i=1}^m x_i y_i - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m y_i + a_1 \left( \sum_{i=1}^m x_i \right)^2 \\ a_1 \left\{ m \sum_{i=1}^m x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^m x_i \right)^2 \right\} &= m \sum_{i=1}^m x_i y_i - \sum_{i=1}^m x_i y_i - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m y_i \\ a_1 &= \frac{m \sum_{i=1}^m x_i y_i - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m y_i}{m \sum_{i=1}^m x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^m x_i \right)^2} \dots \dots \dots (3.22) \end{aligned}$$

### 3.3.2 Regresi Kuadrat Terkecil dengan Fungsi Polinomial

Chopra (1988) mengemukakan persamaan kurva tak linier fungsi polinomial berderajat  $n$  mempunyai bentuk persamaan sebagai berikut ini :

$$y = a_0 + a_1x_i + a_1x_i^2 + \dots + a_nx_i^n \dots\dots\dots(3.23)$$

Dan jumlah derajat kesalahannya adalah :

$$Sr = \sum_{i=1}^m (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 - \dots - a_nx_i^n)^2 \dots\dots\dots(3.24)$$

Dengan parameter  $a_j$  (untuk  $j = 0, 1, 2, 3, \dots, n$ ) yang dicari dengan menyamakan

dengan nol setiap drivatif pertama  $Sr$  terhadap  $a_j$

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=1}^m (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 - \dots - a_nx_i^n) = 0$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=1}^m (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 - \dots - a_nx_i^n)(x_i) = 0$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_2} = -2 \sum_{i=1}^m (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 - \dots - a_nx_i^n)(x_i)^2 = 0$$

·  
·  
·

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_n} = -2 \sum_{i=1}^m (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 - \dots - a_nx_i^n)(x_i)^n = 0$$

Penyelesaian persamaan di atas adalah sebagai berikut :

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=1}^m (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 - \dots - a_nx_i^n) = 0$$

$$\sum_{i=1}^m (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 - \dots - a_nx_i^n) = 0$$

$$\sum_{i=1}^m y_i - ma_0 - a_1 \sum_{i=1}^m x_i - a_2 \sum_{i=1}^m x_i^2 - \dots - a_n \sum_{i=1}^m x_i^n = 0$$

$$ma_0 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^2 + a_n \sum_{i=1}^m x_i^n = \sum_{i=1}^m y_i \dots\dots\dots(3.25)$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=1}^m (y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - \dots - a_n x_i^n)(x_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^m (x_i y_i - a_0 x_i - a_1 x_i^2 - a_2 x_i^3 - \dots - a_n x_i^{n+1}) = 0$$

$$\sum_{i=1}^m x_i y_i - a_0 x_i - a_1 \sum_{i=1}^m x_i^2 - a_2 \sum_{i=1}^m x_i^3 - \dots - a_n \sum_{i=1}^m x_i^{n+1} = 0$$

$$a_0 x_i + a_1 \sum_{i=1}^m x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^3 + a_n \sum_{i=1}^m x_i^{n+1} = \sum_{i=1}^m x_i y_i \dots\dots\dots(3.26)$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_2} = -2 \sum_{i=1}^m (y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - \dots - a_n x_i^n)(x_i)^2 = 0$$

$$\sum_{i=1}^m (x_i^2 y_i - a_0 x_i^2 - a_1 x_i^3 - a_2 x_i^4 - \dots - a_n x_i^{n+2}) = 0$$

$$\sum_{i=1}^m x_i^2 y_i - a_0 x_i^2 - a_1 \sum_{i=1}^m x_i^3 - a_2 \sum_{i=1}^m x_i^4 - \dots - a_n \sum_{i=1}^m x_i^{n+2} = 0$$

$$a_0 x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^4 + a_n \sum_{i=1}^m x_i^{n+2} = \sum_{i=1}^m x_i^2 y_i \dots\dots\dots(3.27)$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_n} = -2 \sum_{i=1}^m (y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - \dots - a_n x_i^n)(x_i)^n = 0$$

$$\sum_{i=1}^m (x_i^n y_i - a_0 x_i^n - a_1 x_i^{n+1} - a_2 x_i^{n+2} - \dots - a_n x_i^{n+n}) = 0$$

$$\sum_{i=1}^m x_i^n y_i - a_0 x_i^n - a_1 \sum_{i=1}^m x_i^{n+1} - a_2 \sum_{i=1}^m x_i^{n+2} - \dots - a_n \sum_{i=1}^m x_i^{n+n} = 0$$

$$a_0 x_i^n + a_1 \sum_{i=1}^m x_i^{n+1} + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^{n+2} + a_n \sum_{i=1}^m x_i^{n+n} = \sum_{i=1}^m x_i^n y_i \dots\dots\dots(3.28)$$

Persamaan ( 3.25 ) sampai dengan ( 3.28 ) dapat disusun dalam bentuk matrik, seperti ditunjukkan pada persamaan (3.29).

$$\begin{bmatrix} m & \sum x_i & \sum x_i^2 & \dots & \sum x_i^n \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \dots & \sum x_i^{n+1} \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \dots & \sum x_i^{n+2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum x_i^n & \sum x_i^{n+1} & \sum x_i^{n+2} & \dots & \sum x_i^{n+n} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \\ \dots \\ \sum x_i^n y_i \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(3.29)$$

### 3.4 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka dan landasan teori yang telah dikemukakan maka dapat diajukan suatu hipotesis bahwa terjadi peningkatan kuat lentur terhadap balok kayu bengkirai dengan perletakan sederhana ( *simple beam* ).