

BAB V

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

5.1. TINJAUAN UMUM

Dari pelaksanaan penelitian yang dilaksanakan secara garis besar dapat digolongkan dalam dua hal:

5.1.1 Pengujian Bahan-bahan rangka

Pengujian bahan ini meliputi pengujian profil baja dan pengujian baut. Pengujian bahan-bahan rangka dimaksudkan untuk mengetahui kekuatan yang sebenarnya dari profil yang dipakai untuk membuat rangka dan juga untuk mengetahui kekuatan yang sebenarnya dari baut yang kita gunakan, yaitu baut dengan diameter 0,75 in dan baut dengan diameter 0,5 in.

5.1.2 Pengujian Rangka Baja

Sedangkan pengujian rangka baja merupakan pengujian yang dimaksudkan dalam tugas akhir ini, yaitu untuk mengetahui P maksimal yang mampu ditahan oleh rangka tersebut yang nantinya akan kita bandingkan dengan hasil perhitungan secara analisis menggunakan program SAP90.

5.2 HASIL PENGUJIAN BENDA UJI PROFIL DAN BAUT

Hasil pengujian meliputi tiga macam sampel yaitu : baut dengan diameter 0,75 in, baut dengan diameter 0,5 in dan hasil uji profil. Hal ini akan kita gunakan untuk menganalisis hasil pengujian rangka batang. Sedangkan untuk las tidak kita lakukan pengujian karena kekuatan las sudah kita ketahui dari pembungkus elektroda yang digunakan. Adapun hasil pengujian benda uji baut dan profil, sebagai berikut:

1. Baut dengan diameter 0,5 in

$$P \text{ geser} = 3472,77 \text{ kg}$$

$$\tau = P/A = 3472,77/1,1786 = 2946,521 \text{ kg/mm}^2$$

Baut dengan diameter 0,75 in

$$P \text{ geser} = 2807 \text{ kg}$$

$$\tau = P/A = 2807/2,652 = 1058,446 \text{ kg/mm}^2$$

2. Profil baja

$$f_y = 3050 \text{ kg/cm}^2 = 30,50 \text{ kg/mm}^2$$

$$F_u = 6440,57 \text{ kg/cm}^2 = 64,4057 \text{ kg/mm}^2$$

Sedangkan untuk las dipakai elektroda E 60 ksi = $4137 \text{ kg/cm}^2 =$

$41,37 \text{ kg/mm}^2$. Data profil yang ada dilampirkan:

$$X = 243,14 \text{ mm}$$

$$Y = 222,86 \text{ mm}$$

$$A_g = 713,6 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 69324 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 177796 \text{ mm}^4$$

$$r_x = 97,15 \text{ mm}$$

$$r_y = 249,15 \text{ mm}$$

$$S_x = 3110,65 \text{ mm}^3$$

$$S_y = 731,249 \text{ mm}^3$$

5.3 PERSIAPAN DAN PENGUJIAN RANGKA

Sebelum rangka diletakkan diatas perletakan sendi rol rangka digarisi dulu pada titik berat profil, untuk mengetahui letak titik buhul yang ada. Rangka yang akan diuji diletakkan diatas perletakan sendi rol dan diusahakan letak rangka tidak mengalami perubahan, kemudian diatas rangka diletakkan alat perata beban. Kemudian kita ukur semua jarak yang diperlukan, termasuk eksentrisitas pembebanan dan eksentrisitas perletakan rol. Setelah selesai semuanya kita pasang dial pada sisi bawah dan sisi atas ditengah-tengah rangka untuk mengetahui lendutan yang terjadi, setelah itu kita menghidupkan mesin uji untuk mulai pengujian.

5.3.1. Pengujian Sampel Pertama

1. Hasil Pengujian

Hasil pengujian pada rangka pertama ini menghasilkan:

- a. Kerusakan terjadi pada batang 4, 8 dan 12.
- b. Kerusakan terjadi pada join D, B, F yang diakibatkan oleh rusaknya plat.
- c. Pmaksimal yang terjadi sebesar 14.100 kg.

Untuk hasil pembacaan dial bisa dilihat pada halaman lampiran tugas akhir ini. Pada halaman selanjutnya adalah hasil analisis dari perhitungan memakai program SAP90, dengan menggunakan pembebanan yang terjadi didalam percobaan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UIL.

2. Analisa Rangka sebagai Truss

a. Batang Tekan

Hasil dari aplikasi program SAP 90 didapatkan:

$$P = 977,6 \text{ kg}$$

$$L = 710,64 \text{ mm}$$

$$A_g = 713,6 \text{ mm}^2$$

$$r_x = 97,15 \text{ mm}$$

$$f_a = \frac{P}{A_g}$$

$$= \frac{977,6}{713,6} = 13,699 \text{ kg/mm}^2$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{l_y}}$$

$$= \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^4}{30,5}}$$

$$= 116,580$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{1.7104,64}{97,15}$$

$$= 7,315$$

$$FS = \frac{5 + 3\left(\frac{KL}{r}\right) + \left(\frac{KL}{r}\right)^3}{3 + 8.Cc} - \frac{1\left(\frac{KL}{r}\right)^3}{8.Cc^3}$$

$$= \frac{5 + 3(7,315) + 1(7,315)^3}{3 + 8.116,580} - \frac{1(7,315)^3}{8.116,580^3}$$

$$= 1,832$$

$$Fa = \frac{Fy}{FS} \left[1 - \frac{(KL/r)^2}{(2 \cdot Cc)^2} \right]$$

$$= \frac{30,5}{1,832} \left[1 - \frac{(7,315)^2}{2.116,580^2} \right]$$

$$= 16,616 \text{ kg/mm}^2$$

Fa > fa jadi batang tekan aman.

Untuk perhitungan selanjutnya ditabelkan pada tabel 5.1

Tabel 5.1. Kekuatan batang tekan struktur truss hasil perhitungan metode SAP 90

Batang	P (kg)	L (mm)	f_a (kg/mm ²)	KL/r	FS	F_a (kg/mm ²)
3	9776	710,84	13,699	7,315	1,832	16,616
5	4700	532	6,586	5,476	1,684	18,111
7	9776	729,03	13,699	7,504	1,691	18,034
8	9024	507	12,656	5,219	1,667	18,278
9	9024	505	12,656	5,198	1,667	18,278

b. Batang Tarik

Hasil dari aplikasi program SAP 90 didapatkan sebagai berikut:

$$P = 6674 \text{ kg}$$

$$A_g = 713,6 \text{ mm}^2$$

$$F_y = 30,5 \text{ kg/mm}^2$$

$$A_e = 713,6 \text{ mm}^2$$

$$F_u = 64,407 \text{ kg/mm}^2$$

$$P_{ijin} = 0,5 \cdot F_u \cdot A_e$$

$$= 0,5 \cdot 64,407 \cdot 713,6 = 22979,954 \text{ kg}$$

$$P_{ijin} = 0,5 \cdot F_y \cdot A_g$$

$$= 0,5 \cdot 30,5 \cdot 713,6 = 13058,88 \text{ kg (yang menentukan)}$$

Untuk perhitungan yang lain ada pada tabel 5.2

Tabel 5.2. Kekuatan batang tarik struktur truss hasil perhitungan metode SAP 90

Batang	P (kg)	Ag (mm ²)	Ae (mm ²)	0,5.Fu.Ae (kg)	0,6.Fy.Ag (kg)
1	6674	713,6	713,6	22979,954	13058,88
2	6862	713,6	713,6	22979,954	13058,88
4	3384	713,6	713,6	22979,954	13058,88
6	3102	713,6	713,6	22979,954	13058,88

3. Analisis Rangka sebagai Frame

a. Batang Tekan

Dari hasil aplikasi program SAP 90 didapatkan sebagai berikut:

$$M_x = 46535,51 \text{ kg}$$

$$S_x = 3110,65 \text{ mm}^3$$

$$E = 2.1.10^4 \text{ kg/mm}^2$$

Dari perhitungan rangka truss didapatkan:

$$F_a = 16,616 \text{ kg/mm}^2$$

$$f_a = \frac{P}{A_g}$$

$$= \frac{9402,44}{713,6} = 13,176 \text{ kg/mm}^2$$

sebagai kolom

$$\frac{f_a}{F_a} = \frac{13,176}{18,09} > 0,15 \quad \text{Aman}$$

sebagai balok

$$\begin{aligned}
 f_{bx} &= \frac{M/x}{S_x} \\
 &= \frac{4635,51}{3110,55} = 14,960 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_b &= 0,66 \cdot F_y \\
 &= 0,66 \cdot 30,5 = 20,13 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

Pembesaran momen

$$\begin{aligned}
 F'_{ex} &= \frac{12 \cdot \pi^2 \cdot E}{23(KL/r)^2} \\
 &= \frac{12 \cdot \pi^2 \cdot 2}{23(7,314)^2} = 2020,895 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_m &= 0,6 - 0,4 (M_1 / M_2) \\
 &= 0,6 - 0,4 \left(\frac{19676,06}{46535,51} \right) \\
 &= 0,431
 \end{aligned}$$

Kontrol persamaan interaksi

$$\begin{aligned}
 K_1 &= \frac{f_u}{F_a} + \frac{C_m \cdot f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_u}{F'_{ex}} \right) F_b} \leq 1,00 \\
 &= \frac{13,176}{16,616} + \frac{0,431 \cdot 14,960}{\left(1 - \frac{13,176}{2020,895} \right) 20,13} \\
 &= 1,113 \text{ (sarat } K_1 < 1,0 \text{ Aman)}
 \end{aligned}$$

$$K_2 = \frac{fa}{0,6F_y} + \frac{fbx}{F_b} \leq 1,00$$

$$= \frac{13,176}{0,6 \cdot 30,5} + \frac{14,960}{20,13} = 1,463$$

Untuk perhitungan yang lain ada pada tabel 5.3

Tabel 5.3 Kekuatan batang tekan struktur frame hasil perhitungan

Program SAP90

Batang	P (kg)	Mx (kg mm)	M _y (kg mm)	fbx (kg/mm ²)	F'ex (kg/mm ²)	Cm	K ₁	K ₂
4	9402,44	46535,51	19676,06	14,960	2020,895	0,431	1,113	1,463
8	9019,28	291176,05	67567,10	93,606	1920,378	0,507	3,047	5,341
6	5538,84	32960,80	793,81	10,596	3606,185	0,590	0,697	0,951
9	8876,50	97750,79	85276,42	31,242	579435,309	0,251	1,072	2,241
10	8876,50	97750,79	61376,59	31,242	4720,924	0,349	1,233	2,241
11	8816,04	162304,78	62170,40	52,177	4994,685	0,447	1,843	3,267
12	8816,04	162304,78	60474,01	52,177	367733,081	0,451	0,451	3,267

b. Batang tarik

Pada batang tarik tegangan ijin yang diperbolehkan adalah:

$$F_t = 0,6 \cdot F_y = 0,6 \cdot 30,5 = 18,3 \text{ kg/mm}^2$$

Dari hasil aplikasi program SAP 90 didapatkan sebagai berikut:

$$F_t = 18,3 \text{ kg/mm}^2$$

$$P_{ijin} = F_t \cdot A_g = 18,3 \cdot 713,6 = 13058,88 \text{ kg} > 6491,89 \text{ kg} \text{ Aman}$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 5.4.

$$\begin{aligned}
 f_{bx} &= \frac{M_x}{S_x} \\
 &= \frac{58350,33}{3110,65} = 18,758
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_b &= 0,66 \cdot F_y \\
 &= 0,66 \cdot 30,5 \\
 &= 20,13 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

Pembesaran momen

$$\begin{aligned}
 F'_{ex} &= \frac{12 \pi^2 E}{23(KL/r)^2} \\
 &= \frac{12 \pi^2 1.10^4}{23(7,566)^2} = 1889,034 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_m &= 0,6 - 0,4 (M_1/M_2) \\
 &= 0,6 - 0,4 (21597/58350,33) \\
 &= 0,452
 \end{aligned}$$

Kontrol persamaan interaksi

$$\begin{aligned}
 K_1 &= \frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m \cdot f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex} F_b}\right)} \leq 1,00 \\
 &= \frac{13,581}{18,034} + \frac{0,452 \cdot 18,758}{\left(1 - \frac{13,561}{1889,034}\right)} 20,13 \\
 &= 1,176
 \end{aligned}$$

$$K_2 = \frac{fa}{0,6F_y} + \frac{fbx}{F_b} \leq 1,00$$

$$= \frac{13,561}{0,6 \cdot 30,5} + \frac{18,758}{20,13} = 1,673$$

Untuk perhitungan yang lain ada pada tabel 5.7

Tabel 5.7 Kekuatan batang tekan struktur frames hasil perhitungan

SAP 90

Batang	P (kg)	Mx (kg mm)	M ₁ (kg mm)	fbx (kg/mm ²)	F ^{ex} (kg/mm ²)	C _m	K ₁	K ₂
4	9677,44	58350,33	21597,38	18,758	1889034	0,452	1,176	1,673
8	9484,67	247705,34	64870,77	79,631	1858451	0,495	2,710	1,682
6	5477,08	30210,30	6657,90	9,712	3606185	0,512	0,671	0,902
9	9488,28	120247,06	112663,97	38,675	33755148	0,225	1,159	2,647
10	9488,28	11914,06	65274,09	68,549	4720924	0,382	1,467	2,642
11	9418,98	142566,10	58979,19	45,832	4994665	0,435	1,721	2,998
12	9418,98	142233,10	46189,53	45,724	504441105	0,470	1,793	2,993

b. Batang tarik

Pada batang tarik tegangan ijin yang diperbolehkan adalah:

$$F_t = 0,6 F_y$$

$$= 0,6 \cdot 30,5 = 18,3 \text{ kg/mm}^2$$

Dari hasil aplikasi program SAP 90 didapatkan:

$$P = 6616,18 \text{ kg}$$

$$F_t = 18,3 \text{ kg/mm}^2$$

$$P_{ijin} = F_t \cdot A_g$$

$$= 18,3 \cdot 6616,18 \cdot 713,6$$

$$= 13058,88 \text{ kg} > 6491,89 \text{ kg} \quad \text{Aman}$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 5.8.

Tabel 5.8. Kekuatan batang tarik struktur frame hasil perhitungan program SAP 90

Batang	P (kg)	Ft (kg/mm ²)	Ag (mm ²)	P _{ijin} (kg)
1	6616,18	18,3	713,6	13058,88
2	6991,49	18,3	713,6	13058,88
3	6991,49	18,3	713,6	13058,88
7	3289,09	18,3	713,6	13058,88
5	4030,40	18,3	713,6	13058,88

5.3.2. Pengujian Sampel Ketiga

1. Hasil Pengujian

- a. Terjadi kerusakan terjadi pada batang 11, 12, 4.
- b. Beban maksimal yang terjadi sebesar 13.200 kg.

Untuk hasil pembacaan dial ada pada halaman lampiran.

2. Analisis Rangka sebagai Truss

a. Batang Desak

Dari aplikasi program SAP 90 didapatkan:

$$P = 9372 \text{ kg}$$

$$L = 738,5 \text{ mm}$$

$$r_x = 97,15$$

$$A_g = 713,6 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 f_a &= \frac{P}{A_g} \\
 &= \frac{9372}{713,6} \\
 &= 13,135 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c &= \sqrt{\frac{2 \pi^2 \cdot E}{F_y}} \\
 &= \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^4}{30,5}} \\
 &= 116,580
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{KL}{r} &= \frac{1738,5}{97,15} \\
 &= 7,602
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_S &= \frac{5}{3} + \frac{3 \left(\frac{KL}{r} \right) + \left(\frac{KL}{r} \right)^3}{8 \cdot C_c} \\
 &= \frac{5}{3} + \frac{3(7,602) + (7,602)^3}{8 \cdot 116,580} \\
 &= 1,691
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_a &= \frac{F_y}{F_S} \left[1 - \frac{(KL/r)^2}{(2 \cdot C_c)^2} \right] \\
 &= \frac{30,5}{1,691} \left[1 - \frac{(7,566)^2}{2 \cdot 116,580^2} \right] = 18,000 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$f_a < F_a \quad \text{Aman.}$$

Untuk perhitungan yang lain ada pada tabel 5.9.

Tabel 5.9. Kekuatan batang tekan struktur truss hasil perhitungan metode SAP 90

Batang	P (kg)	L (mm)	f_a (kg/mm ²)	KL/r	FS	F_a (kg/mm ²)
3	9372	738,5	13,135	7,802	1,691	17,998
5	4400	536	6,166	5,517	1,684	18,091
7	9416	745,29	13,195	7,672	1,691	17,998
8	8712	505	12,209	5,198	1,684	18,104
9	8712	480	12,209	4,941	1,683	18,106

b. Batang tarik

Dari hasil aplikasi program SAP 90 didapatkan:

$$P = 6460 \text{ kg}$$

$$A_g = 713,6 \text{ mm}^2$$

$$A_e = 518,041 \text{ mm}^2$$

$$F_u = 64,407 \text{ kg/mm}^2$$

$$P_{ijin} = 0,5 \cdot F_u \cdot A_e$$

$$= 0,5 \cdot 64,407 \cdot 518,041 = 16682,397 \text{ kg}$$

$$P_{ijin} = 0,5 \cdot F_y \cdot A_g$$

$$= 0,6 \cdot 30,5 \cdot 713,6 = 13058,88 \text{ kg}$$

Untuk perhitungan yang lain ada pada tabel 5.10

Tabel 5.10. Kekuatan batang tarik struktur truss hasil perhitungan metode SAP 90

Batang	P (kg)	Ag (mm ²)	Ae (mm ²)	0,5.Fu.Ae (kg)	0,6.Fy.Ag (kg)
1	6460	713,6	518,041	16682,397	13058,88
2	6900	713,6	518,041	16682,397	13058,88
4	3256	713,6	518,041	16682,397	13058,88
6	2684	713,6	518,041	16682,397	13058,88

3. Analisis Rangka sebagai Frame

a. Batang tekan

Dari hasil aplikasi program SAP 90 didapatkan:

$$M_x = 4067,29 \text{ kg}$$

$$S_x = 3110,65 \text{ mm}^3$$

dari perhitungan rangka truss didapatkan:

Sebagai kolom

$$F_a = 17,998 \text{ kg/mm}^2$$

$$f_a = \frac{P}{A_g} = \frac{9131,42}{713,6} = 12,798 \text{ kg/mm}^2$$

$$\frac{f_a}{F_a} = \frac{12,798}{17,998} > 0,15$$

Sebagai balok

$$f_{bx} = \frac{M_x}{S_x}$$

$$= \frac{40672,29}{3110,65} = 13,075$$

$$F_b = 0,66 \cdot F_y$$

$$= 0,66 \cdot 30,5 = 20,13 \text{ kg/mm}^2$$

$$F'_{ex} = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2}$$

$$= \frac{12\pi^2 \cdot 1 \cdot 10^4}{23(7,602)^2} = 1871,185 \text{ kg/mm}^2$$

$$C_m = 0,6 - 0,4 (M_1/M_2)$$

$$= 0,6 - 0,4 (15159,47/40672,29) = 0,451$$

Kontrol persamaan interaksi

$$K_1 = \frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m \cdot f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex} F_b}\right)} \leq 1,00$$

$$= \frac{12,798}{17,993} + \frac{0,451 \cdot 13,057}{\left(1 - \frac{12,798}{1871,185}\right) 20,13} = 0,947$$

$$K_2 = \frac{f_a}{0,6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_b} \leq 0,01$$

$$= \frac{12,798}{0,6 \cdot 30,5} + \frac{13,075}{20,13} = 1,349$$

Untuk perhitungan yang lain ada pada tabel 5.11

Tabel 5.12. Kekuatan batang tarik struktur frame hasil perhitungan program SAP 90

Batang	P (kg)	Ft (kg/mm ²)	Ag (mm ²)	P ijin (kg)
1	6355,48	18,3	713,6	13058,88
2	6458,87	18,3	713,6	13058,88
3	6458,87	18,3	713,6	13058,88
7	3129,36	18,3	713,6	13058,88
5	3386,03	18,3	713,6	13058,88

5.3.4. Pengujian Sampel Keempat

1. Hasil Pengujian

- Terjadi kerusakan terjadi pada batang 4, 8, 11, 12.
- Beban maksimal yang terjadi sebesar 12550 kg.

Untuk hasil pembacaan dial pada halaman lampiran.

2. Analisis Rangka sebagai Truss

a. Batang Tekan

Dari aplikasi program SAP 90 didapatkan:

$$P = 8450,227 \text{ kg}$$

$$A_g = 713,6 \text{ mm}^2$$

$$A_e = 518,041 \text{ mm}^2$$

$$F_u = 64,407 \text{ kg/mm}^2$$

$$F_y = 30,5 \text{ kg/mm}^2$$

$$f_a = \frac{P}{A_g}$$

$$= \frac{8450,227}{713,6}$$

$$= 11,842 \text{ kg/mm}^2$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{F_y}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^4}{30,5}} = 116,580$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{1721956}{97,15}$$

$$= 7,431$$

$$F_S = \frac{5 + 3\left(\frac{KL}{r}\right) + \frac{1\left(\frac{KL}{r}\right)^3}{8 \cdot C_c}}{3 + \frac{1\left(\frac{KL}{r}\right)^3}{8 \cdot C_c^3}}$$

$$= \frac{5 + 3(7,431) + \frac{1(7,431)^3}{8 \cdot 116,580}}{3 + \frac{1(7,431)^3}{8 \cdot 116,580^3}}$$

$$= 1,691$$

$$F_a = \frac{F_y \left[1 - \frac{(KL/r)^2}{(2 \cdot C_c)^2} \right]}{F_S}$$

$$= \frac{30,5 \left[1 - \frac{(7,431)^2}{2 \cdot 116,580^2} \right]}{1,691} = 18,000 \text{ kg/mm}^2$$

$F_a > f_a$ Aman.

Untuk perhitungan yang lain ada pada tabel 5.13.

Tabel 5.13. Kekuatan batang tekan struktur truss hasil perhitungan metode SAP 90

Batang	P (kg)	L (mm)	f_a (kg/mm ²)	KL/r	FS	F_a (kg/mm ²)
3	8450,227	721,956	11,842	7,431	1,691	18,000
5	4183,33	548	5,862	5,641	1,685	18,070
7	8533,993	726,198	11,959	7,475	1,691	17,999
8	7697,327	545	10,787	5,610	1,685	18,083
9	7697,327	507	10,787	5,219	1,683	18,104

c. Batang Tarik

Dari hasil aplikasi program SAP 90 didapatkan:

$$P = 5521,996 \text{ kg}$$

$$A_g = 713,6 \text{ mm}^2$$

$$A_e = 518,041 \text{ mm}^2$$

$$F_u = 64,407 \text{ kg/mm}^2$$

$$F_y = 30,5 \text{ kg/mm}^2$$

$$P_{ijin} = 0,5 \cdot F_u \cdot A_e$$

$$= 0,5 \cdot 64,407 \cdot 474,861 = 15291,878 \text{ kg}$$

$$P_{ijin} = 0,5 \cdot F_y \cdot A_g$$

$$= 0,5 \cdot 64,407 \cdot 474,861 = 15291,878 \text{ kg}$$

Untuk perhitungan yang lain ada pada tabel 5.14

Tabel 5.14. Kekuatan batang tarik struktur truss hasil perhitungan metode SAP 90

Batang	P (kg)	Ag (mm ²)	Ae (mm ²)	0,5.Fu.Ae (kg)	0.6.Fy.Ag (kg)
1	5521,996	713,6	474,861	15291878	13058,88
2	5856,662	713,6	474,861	15291878	13058,88
4	3095,664	713,6	474,861	15291878	13058,88
6	2719,164	713,6	474,861	15291878	13058,88

3. Analisis Rangka sebagai Frame

a. Batang Tekan

Dari hasil aplikasi program SAP 90 didapatkan:

$$M_x = 72383,94 \text{ kg}$$

$$S_x = 3110,65 \text{ mm}^3$$

dari perhitungan rangka truss didapatkan:

$$F_a = 18,000 \text{ kg/mm}^2$$

Sebagai kolom

$$f_a = \frac{P}{A_g}$$

$$= \frac{8171,36}{713,6} = 11,451 \text{ kg/mm}^2$$

$$\frac{f_a}{F_a} > 0,15$$

Sebagai balok

$$f_{bx} = \frac{M_x}{S_x}$$

$$= \frac{72383,94}{3110,65} = 23,270 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{aligned} F_b &= 0,66 F_y \\ &= 0,66 \cdot 30,5 = 20,13 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F'_{ex} &= \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2} \\ &= 1958,294 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_m &= 0,6 - 0,4 (M_1/M_2) \\ &= 0,6 - 0,4 (24410,06/73283,94) = 0,465 \end{aligned}$$

Kontrol persamaan interaksi

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m \cdot f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right) F_b} \leq 1,00 \\ &= 0,636 + \frac{0,46 \cdot 23,270}{\left(1 - \frac{11,451}{1958,294}\right) 20,13} \\ &= 1,174 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_2 &= \frac{f_a}{0,6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_b} \leq 0,01 \\ &= \frac{11,451}{0,6 \cdot 30,5} + \frac{23,270}{20,13} = 1,792 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan yang lain ada pada tabel 5.15

Tabel 5.15 Kekuatan batang tekan struktur struss hasil perhitungan metode SAP 90

Batang	P (kg)	Mx (kg mm)	M _y (kg mm)	F _{bx} (kg/mm ²)	F _{ex} (kg/mm ²)	C _{ra}	K ₁	K ₂
4	8171,36	72383,94	24410,06	23,270	1958294	0,46	1,174	1,732
8	8120,96	231262,58	49377,93	74,354	1935308	0,515	2,535	4,316
6	5177,14	33900,35	14654,90	10,898	3398289	0,427	0,632	0,938
9	8062,20	154039,89	139485,79	49,520	159651417	0,238	1,204	3,077
10	8062,20	153706,89	85270,10	49,413	4720924	0,378	1,554	3,072
11	7971,61	146105,31	70948,20	46,970	4994665	0,406	1,566	2,944
12	7971,61	145773,31	57880,19	46,863	337551146	0,441	1,638	2,938

b. Batang Tarik

Pada batang tarik tegangan ijin yang diperbolehkan adalah:

$$\begin{aligned}
 F_t &= 0,6 \cdot F_y \\
 &= 0,6 \cdot 30,5 = 18,3 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

Dari hasil aplikasi program SAP 90 didapatkan:

$$F_t = 18,3 \cdot A_g = 713,6 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 P_{ijin} &= F_t \cdot A_g \\
 &= 18,3 \cdot 713,6 = 13058,88 \text{ kg} > 5526,89 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan yang lain ada pada tabel 5.16.

Tabel 5.16. Kekuatan batang tarik struktur frame hasil perhitungan program SAP 90

Batang	P (kg)	Ft (kg/mm ²)	Ag (mm ²)	P ijin (kg)
1	5526,89	18,3	713,6	13058,88
2	5385,01	18,3	713,6	13058,88
3	5385,01	18,3	713,6	13058,88
7	3512,02	18,3	713,6	13058,88
5	3456,20	18,3	713,6	13058,88

Untuk perhitungan beban secara analitis diambil sebagai berikut:

1. Rangka Pertama

a. Batang Desak

Dari aplikasi program SAP 90 didapatkan batang yang mengalami pembebanan terbesar adalah batang 7 dan batang 3 sebesar 2,08 satu satuan.

Dan dari perhitungan rangka sebagai Truss didapat:

$$F_a = 16,616 \text{ kg/mm}^2 \text{ dan } F_a = 18,034 \text{ kg/mm}^2$$

Batang 7

$$\begin{aligned} P_{ijin} &= F_a \cdot A_g \\ &= 18,034 \cdot 713,6 \\ &= 12869,062 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P_{analitis} = \frac{P_{ijin}}{P_{batas\ maksimum}}$$

$$= \frac{12869,062}{2,08}$$

$$= 6187,049 \text{ kg}$$

batang 3

$$P_{ijin} = F_a \cdot A_g$$

$$= 16,616 \cdot 713,6$$

$$= 11857,178 \text{ kg}$$

$$P_{analitis} = \frac{P_{ijin}}{P_{satu\ satuan}}$$

$$= \frac{11857,178}{2,08}$$

$$= 5700,566 \text{ kg}$$

untuk perhitungan yang lain ada pada tabel 5.17

Tabel 5.17. Beban desak analitis pada batang

Batang	$P_{satu\ satuan}$	F_a (kg/mm ²)	A_g (mm ²)	P_{ijin} (kg)	$P_{analitis}$ (kg)
3	2,08	16,616	713,6	11857,178	5700,566
5	1,00	18,111	713,6	12924,009	12924,009
7	2,08	18,034	713,6	12869,062	6187,049
8	1,92	18,278	713,6	13043,181	6793,323
9	1,92	18,278	713,6	13043,181	6793,323

b. Batang Tarik

Dari hasil aplikasi program SAP 90 didapatkan batang yang mengalami pembebanan terbesar adalah batang 2 sebesar 1,46 satu satuan dan dari perhitungan rangka sebagai truss didapatkan:

$$\begin{aligned}
 P_{ijin} &= 0,5 \cdot Fu \cdot Ac \\
 &= 0,5 \cdot 64,407 \cdot 713,6 \\
 &= 22979,954 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{analitis} &= \frac{P_{ijin}}{P_{satu\ satuan}} \\
 &= \frac{22979,954}{1,46} \\
 &= 15739,694 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{ijin} &= 0,6 \cdot Fy \cdot Ag \\
 &= 0,6 \cdot 30,5 \cdot 713,6 \\
 &= 13058,88 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{analitis} &= \frac{P_{ijin}}{P_{satu\ satuan}} \\
 &= \frac{13058,88}{1,46} \\
 &= 8944,438 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

untuk perhitungan yang lain ada pada tabel 5.18

Tabel 5.18 Beban tarik analitis pada batang

Batang	$P_{satu\ satuan}$	$0,5 \cdot Fu \cdot Ac$ (kg)	$P_{analitis}$ (kg)	$0,6 \cdot Fy \cdot Ag$ (kg)	$P_{analitis}$ (kg)
1	1,42	22979,954	16183,066	13058,88	9196,394
2	1,46	22979,954	15739,694	13058,88	8944,438
4	0,72	22979,954	32366,132	13058,88	18137,333
6	0,72	22979,954	35353,775	13058,88	18137,333

Jadi $P_{analitis} = 5700,566$

2. Rangka Kedua

a. Batang Desak

Dari perhitungan program SAP 90 didapatkan batang yang mengalami pembebanan terbesar adalah batang 7 sebesar 2,17 satu satuan. Dan dari perhitungan rangka sebagai Truss didapat:

$$F_a = 18,034 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{aligned} P_{ijin} &= F_a \cdot A_g \\ &= 18,024 \cdot 713,6 \\ &= 12869,062 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{analitis} &= \frac{P_{ijin}}{P_{satu\ satuan}} \\ &= \frac{12869,062}{2,18} \\ &= 5903,239 \text{ kg} \end{aligned}$$

untuk perhitungan yang lain ada pada tabel 5.19

Tabel 5.19 Beban desak analitis pada batang

Batang	$P_{satu\ satuan}$	F_a (kg/mm ²)	A_g (mm ²)	P_{ijin} (kg)	$P_{analitis}$ (kg)
3	2,16	18,034	713,6	12869,062	5957,899
5	1,00	18,110	713,6	12923,296	12923,296
7	2,18	18,034	713,6	12869,062	5903,339
8	2,04	18,103	713,6	12418,301	6332,500
9	2,04	18,105	713,6	12919,728	6332,500

b. Batang Tarik

Dari perhitungan program SAP 90 didapatkan batang yang mengalami pembebanan terbesar adalah batang 2 sebesar 1.66 satu satuan dan dari perhitungan rangka sebagai truss didapatkan:

$$\begin{aligned} P_{ijin} &= 0,5 \cdot Fu \cdot Ae \\ &= 0,5 \cdot 64,407 \cdot 713,6 \\ &= 22979,954 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{analitis} &= \frac{P_{ijin}}{P_{satu \text{ satuan}}} \\ &= \frac{22979,954}{1,66} \\ &= 13843,356 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{ijin} &= 0,6 \cdot Fy \cdot Ag \\ &= 0,6 \cdot 30,5 \cdot 713,6 \\ &= 13058,88 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{analitis} &= \frac{P_{ijin}}{P_{satu \text{ satuan}}} \\ &= \frac{13058,88}{1,66} \\ &= 7866,795 \text{ kg} \end{aligned}$$

untuk perhitungan yang lain ada pada tabel 5.20

Tabel 5.21 Beban desak analitis pada batang

Batang	$P_{\text{satu satuan}}$	F_a (kg/mm ²)	A_g (mm ²)	P_{ijin} (kg)	P_{analitis} (kg)
3	2,13	17,998	713,6	12843,373	6029,753
5	1,00	18,090	713,6	12909,738	12909,738
7	2,14	17,998	713,6	12843,373	6000,576
8	1,98	18,103	713,6	12919,014	6524,754
9	1,98	18,106	713,6	12920,442	6524,754

b. Batang Tarik

Dari hasil aplikasi program SAP 90 didapatkan batang yang mengalami pembebanan terbesar adalah batang 2 sebesar 1,57 satu satuan dan dari perhitungan rangka sebagai truss didapatkan:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ijin}} &= 0,5 \cdot F_u \cdot A_e \\
 &= 0,5 \cdot 64,407 \cdot 713,6 \\
 &= 22979,954 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{analitis}} &= \frac{P_{\text{ijin}}}{P_{\text{satu satuan}}} \\
 &= \frac{22979,954}{2} \\
 &= 11489,977 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ijin}} &= 0,6 \cdot F_y \cdot A_g \\
 &= 0,6 \cdot 30,5 \cdot 713,6 \\
 &= 13058,88 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{analitis}} &= \frac{P_{\text{ijin}}}{P_{\text{batas vertikal}}} \\
 &= \frac{13058,88}{2} \\
 &= 6529,44 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

untuk perhitungan yang lain ada pada tabel 5.22

Tabel 5.22 Beban tarik analitis pada batang

Batang	$P_{\text{batas satuan}}$	$0,5 \cdot F_u \cdot Ae$ (kg)	P_{analitis} (kg)	$0,6 \cdot F_y \cdot Ag$ (kg)	P_{analitis} (kg)
1	1,47	16682,397	11348,569	13058,88	8833,592
2	1,57	16682,397	10625,730	13058,88	8317,758
4	0,74	16682,397	22543,779	13058,88	17647,135
6	0,61	16682,397	27348,191	13058,88	21408

Jadi $P_{\text{analitis}} = 6000,576 \text{ kg}$

4. Rangka Keempat

a. Batang Desak

Dari hasil aplikasi program SAP 90 didapatkan batang yang mengalami pembebanan terbesar adalah batang 7 sebesar 2,03 satu

satuan. Dan dari perhitungan rangka sebagai Truss didapat:

$$F_a = 18,000 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ijin}} &= F_a \cdot A_g \\
 &= 18,000 \cdot 713,6 \\
 &= 12844,8 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{analitis}} &= \frac{P_{\text{ijin}}}{P_{\text{satu satuan}}} \\
 &= \frac{12844,8}{2,04} \\
 &= 6296,470 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

untuk perhitungan selanjutnya ada pada tabel 5.23

Tabel 5.23 Beban desak analitis pada batang

Batang	$P_{\text{satu satuan}}$	F_a (kg/mm ²)	A_g (mm ²)	P_{ijin} (kg)	P_{analitis} (kg)
3	2,01	18,000	713,6	12844,8	6538,818
5	1,00	18,000	713,6	12894,752	12894,752
7	2,04	18,000	713,6	12844,8	6296,470
8	1,84	18,083	713,6	12904,029	7013,592
9	1,84	18,014	713,6	12919,014	7013,592

b. Batang Tarik

Dari aplikasi program SAP 90 didapatkan batang yang mengalami pembebanan terbesar adalah batang 2 sebesar 1,40 satu satuan dan dari perhitungan rangka sebagai truss didapatkan:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ijin}} &= 0,5 \cdot F_u \cdot A_e \\
 &= 0,5 \cdot 64,407 \cdot 713,6 \\
 &= 22979,954 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{analitis}} &= \frac{P_{\text{ijin}}}{P_{\text{satu satuan}}} \\
 &= \frac{22979,954}{1,40}
 \end{aligned}$$

$$= 16414,253 \text{ kg}$$

$$P_{ijin} = 0,6 \cdot F_y \cdot A_g$$

$$= 0,6 \cdot 30,5 \cdot 713,6$$

$$= 13058,88 \text{ kg}$$

$$P_{analitis} = \frac{P_{ijin}}{P_{satu\ satuan}}$$

$$= \frac{13058,88}{1,40}$$

$$= 9327,771 \text{ kg}$$

untuk perhitungan yang lain ada pada tabel 5.24

Tabel 5.24 Beban tarik analitis pada batang

Batang	$P_{satu\ satuan}$	$0,5 \cdot F_u \cdot A_e$ (kg)	$P_{analitis}$ (kg)	$0,6 \cdot F_y \cdot A_g$ (kg)	$P_{analitis}$ (kg)
1	1,32	15291,878	11584,756	13058,88	9893,091
2	1,40	15291,878	10922,77	13058,88	9327,771
4	0,74	15291,878	20664,7	13058,88	17647,135
6	0,65	15291,878	23525,966	13058,88	20090,584

$$\text{Jadi } P_{analitis} = 6296,470 \text{ kg}$$

5.4 PEMBAHASAN

5.4.1 Perbandingan Kapasitas Beban Rangka Batang Berdasarkan Hasil Analitis dengan Hasil Pengujian

Dengan mengamsumsikan rangka batang sebagai truss dan dengan aplikasi program SAP90 kita mendapatkan beban $P_{analitis}$ yang mampu ditahan oleh rangka. Jadi hal ini berbeda dengan kondisi sebenarnya dilapangan, yaitu kondisi angka adalah frame dengan adanya eksentrisitas pembebanan dan

eksentrisitas perletakan rol. Juga dengan menganggap plat sambung memenuhi sarat tebal minimal yaitu setebal profil yang disambung.

Agar lebih jelasnya kapasitas beban berdasarkan analitis dengan hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 5.26.

Tabel 5.26. Perbandingan kapasitas beban *P aksial* antara analitis dengan pengujian

Benda Uji	Jenis Sambungan	Berdasarkan Teori (kg)	Berdasarkan Pengujian (kg)	Selisih Pembebanan	
				Kg	%
Rangka I	Las lemah	5700,566	4700	1000,566	21,276
Rangka II	Las kuat	5903,239	4633,33	1270	27,41
Rangka III	Baut ¼ in	6000,576	4400	1600,576	36,376
Rangka IV	Baut ¾ in	6296,470	4183,33	2113	50,51

5.4.2 Perbandingan Lentutan Yang Terjadi Pada Rangka Batang Berdasar Hasil Pengujian dan Analitis

Menurut peraturan AISC kriteria lentutan ijin maksimal yang terjadi sebesar $L/360$. Untuk ledutan hasil perhitungan atau analitis semua kurang dari lentutan ijin maksimal. Begitu juga dengan pembebanan hasil pengujian, lentutan masih kurang dari lentutan ijinmaksimal. Namun kondisi pengujian, lentutan justru sangat besar bedanya dengan lentutan analitis. Untuk lebih jelasnya ditabelkan pada tabel 5.27.

Tabel 5.27. Perbandingan lentutan antara analitis dengan pengujian

Benda Uji	Jenis Sambungan	Berdasar analitis beban 10.000 kg (mm)			Berdasar pengujian Beban 10.000 kg (mm)			Beban Puji dengan kondisinya berdasar aplikasi program SAP90		
		Dial I	Dial II	Dial III	Dial I	Dial II	Dial III	Dial I	Dial II	Dial III
Rangka I	Las (lemah)	0,148	0,136	0,065	5,78	5,73	-	4,092	3,895	0,8129
Rangka II	Las (kuat)	0,167	0,155	0,074	4,96	6,22	0,30	3,840	3,646	0,969
Rangka III	Baut ¼ in	0,156	0,144	0,071	17,64	12,69	-	2,662	2,487	0,886
Rangka IV	Baut ¾ in	0,142	0,136	0,062	14,970	14,320	5,251	3,277	3,091	0,745

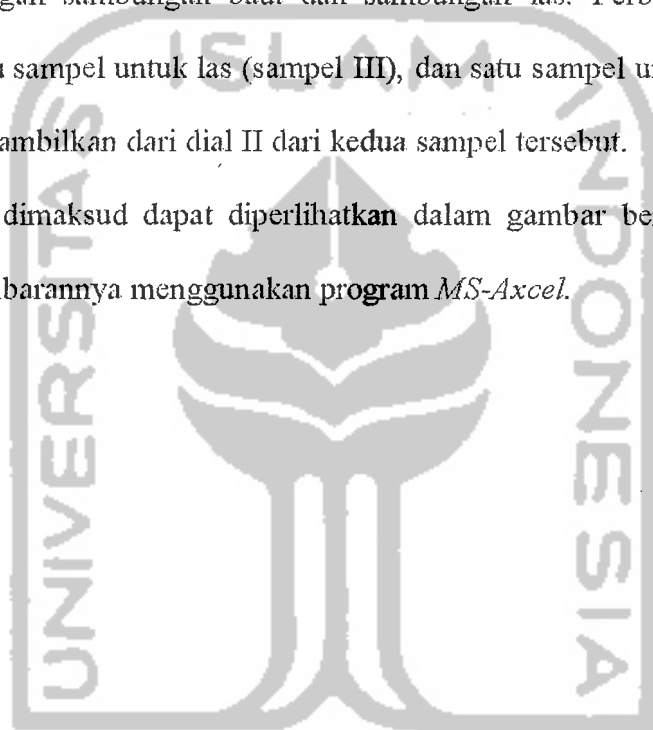
Sehingga menurut pembacaan dial pada pengujian, lendutan yang terjadi pada rangka I, II, III, dan IV semua lebih besar dari lendutan ijin maksimal. Dimana,

$$\Delta = \frac{L}{360} \quad \text{dengan } L \text{ adalah panjang bentang (mm).}$$

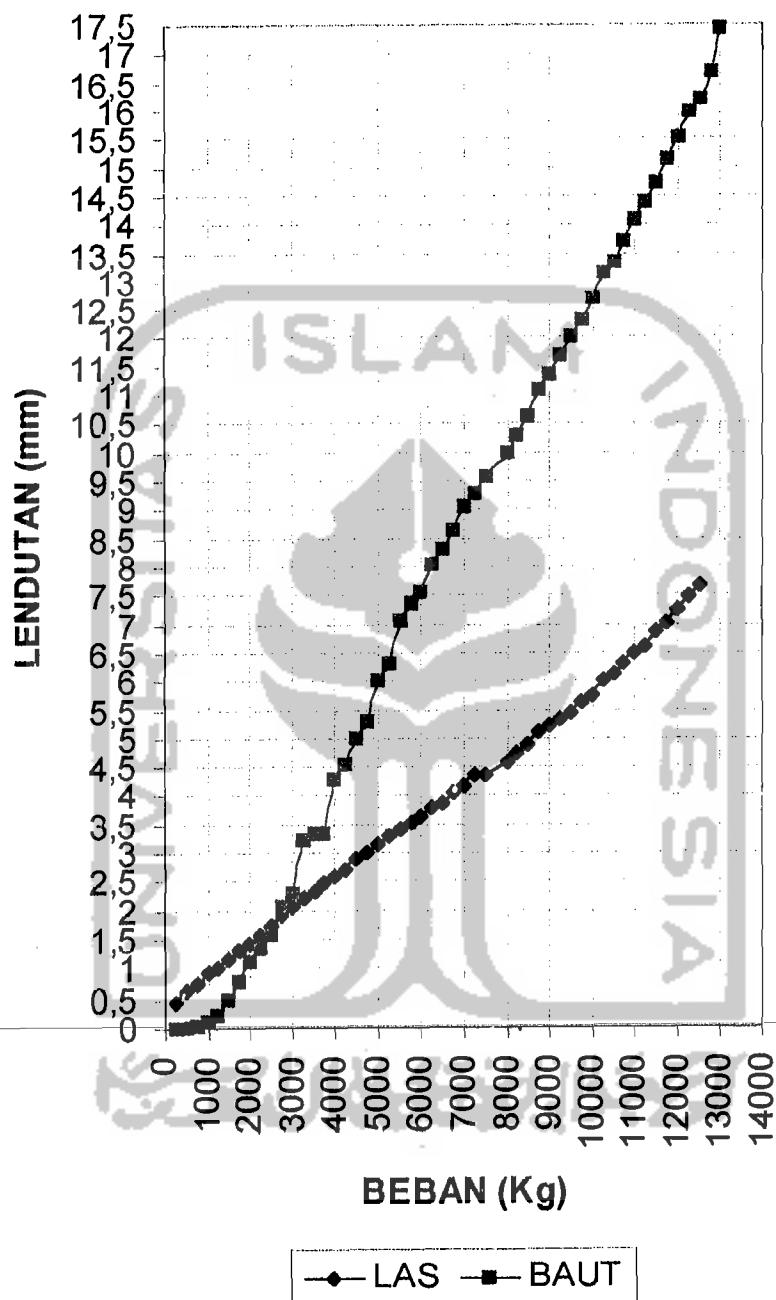
5.4.3 Perbandingan lendutan yang terjadi antara sambungan baut dan las

Dengan melihat tabel 5.27, kita berusaha mencoba akan *membandingkan* kondisi kekuatan rangka dengan sambungan baut dan sambungan las. Perbandingan ini kita hanya mengambil satu sampel untuk las (sampel III), dan satu sampel untuk baut (sampel I). Sedangkan data, diambilkan dari dial II dari kedua sampel tersebut.

Perbandingan dimaksud dapat diperlihatkan dalam gambar berikut ini (gambar 5.1), dimana penggambarannya menggunakan program *MS-Axcel*.



GRAFIK HUBUNGAN LENDUTAN DAN BEBAN PADA Sampel I & III



Gambar 5.1 Grafik Hubungan lendutan dan beban pada sampel I dan III

Dari gambar 5.1. yang digambarkan oleh grafik 5.1 sampai dengan 5.4, maka terjadi perbedaan yang sangat mencolok antara sambungan baut dengan sambungan las hal itu disebabkan oleh :

1. Asumsi rangka sebagai truss pada waktu perhitungan beban P aksial berdasar teori, sementara yang terjadi sesungguhnya adalah rangka kondisi frame karena adanya eksentrisitas pembebanan dan eksentrisitas perletakan yang menyebabkan terjadinya momen. Sehingga kerusakan rangka diakibatkan oleh beban P aksial dengan terjadinya momen.
2. Ketebalan plat pada asumsi awal yang mempunyai tebal sesuai dengan perencanaan, tetapi tebal plat kenyataannya tidak memenuhi syarat tebal minimal yang diperbolehkan.
3. Kurang memenuhinya kondisi peralatan di laboratorium yang digunakan dalam pengujian.
4. Kekurangan efektifan dari yang memberikan bantuan pembacaan data atau grafik yang ada pada peralatan pengujian.