

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Penelitian yang dilakukan meliputi beberapa tahap penelitian antara lain penelitian kuat tarik baja, penelitian kuat desak silinder beton dan penelitian benda uji balok persegi, sesuai dengan prosedur yang berlaku. Diharapkan benda uji tersebut dapat mewakili sifat karakteristik beton yang diteliti dalam percobaan ini. Hasil dari penelitian adalah seperti pada tabel-tabel dibawah ini.

1. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Tabel 5.1 Data Hasil Pengujian Tarik Baja

Diameter Pengenal (mm)	Diameter Terukur (mm)	Tegangan Leleh (Mpa)	Tegangan Tarik Max (Mpa)	Tegangan Patah (Mpa)
6	5,27	248	367	275
6	5,38	260	389	282
6	5,11	261	407	290
12	11,16	229	344	270
12	11,68	210	319	248
12	11,63	218	325	252

Tegangan leleh baja rata-rata berdasarkan tabel 5.1:

$$f_y = \frac{248 + 260 + 261 + 229 + 210 + 218}{6} = 237,67 \text{ Mpa}$$



2. Hasil Pengujian Kuat desak beton

Tabel 5.2 Data Hasil Pengujian Kuat Desak Beton Umur 28 Hari

Nomor Silinder	Nomor Balok	Kuat Tekan Beton (Mpa)	Kuat Tekan rata-rata (Mpa)
H-1a	H-1DTG	45,2	44,85
H-1b		44,5	
H-2a	H-2DTG	43,8	43,8
H-2b		43,8	
H-3a	H-3TTG	42,7	42,85
H-3b		43,0	
H-4a	H-4TTG	47,5	46,8
H-4b		46,1	
N-1a	N-1DTG	36,7	33,3
N-1b		29,9	
N-2a	N-2DTG	26,7	19,4
N-2b		12,1	
N-3a	N-3TTG	25,8	28,7
N-3b		31,6	
N-4a	N-4TTG	30,9	31,0
N-4b		31,1	

Kuat tekan beton sesungguhnya untuk beton mutu tinggi berdasarkan tabel 5.2:

$$f'_{cr} = \frac{356,6}{8} = 44,575 \text{ Mpa}$$

$$sd = \sqrt{\frac{(f'c - f'_{cr})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(40 - 44,575)^2}{8-1}} = 1,729$$

$$f'_{cr} = f'c + k.sd$$

$$f'c = f'_{cr} - 1,64.sd$$

$$f'c = 44,575 - 1,64 \cdot 1,729$$

$$f'c = 41,74 \text{ Mpa}$$

Kuat tekan beton sesungguhnya lebih besar dari kuat tekan beton rencana yaitu

40 Mpa.

Kuat tekan beton sesungguhnya untuk beton mutu normal berdasarkan tabel 5.2

$$f'_{cr} = \frac{224,8}{8} = 28,1 \text{ Mpa}$$

$$sd = \sqrt{\frac{(f'c - f'_{cr})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{(20 - 28,1)^2}{8 - 1}} = 3,062$$

$$f'_{cr} = f'c + k \cdot sd$$

$$f'c = f'_{cr} - 1,64 \cdot sd$$

$$f'c = 28,1 - 1,64 \cdot 3,062$$

$$f'c = 23,08 \text{ Mpa}$$

Kuat tekan beton sesungguhnya lebih besar dari kuat tekan beton rencana yaitu 20 Mpa.

3. Hasil pengujian lentur sample balok beton mutu tinggi dengan tulangan geser minimum (H-DTG)

Tabel 5.3 Data Hasil Pengujian Balok Beton Mutu Tinggi Dengan Tulangan Geser Minimum

NO	SAMPLE H-1DTG					SAMPLE H-2DTG				
	P (ton)	W (kg)	DEFLEKSI (mm)			P (ton)	W (kg)	DEFLEKSI (mm)		
			δ_1	δ_2	δ_3			δ_1	δ_2	δ_3
1	1	155.5	1.25	1.22	0.61	1	156	0.30	0.56	0.47
2	2		2.04	1.95	1.06	2		1.38	1.555	1.19
3	3		2.67	2.09	1.42	3		2.14	2.36	2.74
4	4		3.73	3.56	2.00	4		2.94	3.23	2.37
5	5		4.82	4.27	2.78	5		4.00	4.295	3.15
6	6		5.47	5.56	3.29	6		4.78	5.265	4.81
7	7		5.98	6.22	3.72	7		5.78	6.48	4.69
8	8		8.55	10.48	6.24	8		6.80	7.99	6.69
9	8		9.5	12.74	7.69	8		8.20	10.35	7.98
10	8		11.43	16.38	9.08	8		9.01	11.61	8.66
11	8		15.05	20.15	11.51	8		10.05	13.26	8.53
12	8		16.75	24.43	13.74	8		11.01	14.9	9.45
13	8		19.27	29.41	16.11	8		12.01	16.55	10.36
14						8		13.04	18.14	11.24
15						8		13.90	19.67	12.12
16						8		15.10	21.61	13.43
17						8		16.63	24.47	15.05
18						8		19.24	27.17	16.55

Berdasarkan tabel 5.3 diperoleh :

Beban maksimum : 8 ton

Beban terjadi retak awal : 3.5 ton

4. Hasil pengujian lentur sample balok beton mutu tinggi tanpa tulangan geser minimum (H-TTG)

Tabel 5.4 Data Hasil Pengujian Balok Beton Mutu Tinggi Tanpa Tulangan Geser Minimum

NO	SAMPLE H-3TTG					SAMPLE H-4TTG				
	P (ton)	W (kg)	DEFLEKSI (mm)			P (ton)	W (kg)	DEFLEKSI (mm)		
			δ_1	δ_2	δ_3			δ_1	δ_2	δ_3
1	1	150.5	1.15	2.01	1.79	1	149.5	1.47	1.05	1.5
2	2		2.54	2.76	1.61	2		2.17	2.31	1.79
3	3		3.73	3.95	2.48	3		3.47	3.47	2.55
4	4		4.74	5.11	3.31	4		4.48	4.67	3.48
5	5		5.69	6.37	4.26	5		5.61	6.44	4.48
6	6		6.43	6.78	5.95	6		6.65	7.55	5.85
7	7		7.05	8.07	5.56	7		7.90	9.23	6.79
8	7		12.64	11.67	6.65	7		13.2	18.55	12.48
9						7		14.08	18.80	13.23
10						7		15.15	21.33	14.39
11						7		15.65	21.80	14.91
12						7		16.3	22.20	15.51
13						7		16.98	23.12	16.89

Berdasarkan tabel 5.4 diperoleh :

Beban maksimum : 7 ton

Beban terjadi retak pertama : 3 ton

5. Hasil pengujian lentur sample balok beton mutu normal dengan tulangan geser minimum (N-DTG)

Tabel 5.5 Data Hasil Pengujian Balok Beton Mutu Normal Dengan Tulangan Geser Minimum

NO	SAMPLE N-1DTG					SAMPLN-2DTG				
	P (ton)	W (kg)	DEFLEKSI (mm)			P (ton)	W (kg)	DEFLEKSI (mm)		
			δ_1	δ_2	δ_3			δ_1	δ_2	δ_3
1	0.5	140.5	0.48	0.7	0.37	0.5	141.5	0.38	0.44	0.41
2	1.0		0.78	1.34	0.88	1.0		0.80	0.87	0.80
3	1.5		1.32	1.85	1.31	1.5		1.35	1.46	1.19
4	2.0		1.74	2.25	1.59	2.0		1.80	1.92	1.51
5	2.5		2.25	2.77	1.97	2.5		2.22	2.4	1.86
6	3.0		2.58	3.16	2.25	3.0		2.68	2.97	2.25
7	3.5		3.04	3.66	2.6	3.5		3.32	3.73	2.77
8	4.0		3.64	4.30	3.08	4.0		3.78	4.26	3.17
9	4.5		4.21	4.95	3.56	4.5		4.42	5.00	3.56
10	5.0		4.75	5.56	4.03	5.0		5.07	5.58	4.12
11	5.5		5.18	6.03	4.38	5.5		5.48	6.54	4.46
12	6.0		5.59	6.55	4.77	6.0		5.99	6.86	4.90
13	6.5		6.02	7.14	5.22	6.5		6.55	7.40	5.38
14	7.0		6.59	8.05	5.82	7.0		7.01	7.89	5.78
15	7.0		7.19	9.03	6.46	7.0		8.33	9.94	6.96
16	7.0		12.11	18.38	12.22	7.0		10.92	14.57	9.70
17	7.0		13.94	20.50	13.55	7.0		12.26	17.42	11.39
18	7.0		14.55	21.41	14.16	7.0		14.35	19.58	12.60
19	7.0		15.53	23.76	15.40	7.0		15.88	20.21	14.29
20	7.0		16.35	24.51	16.18	7.0		15.98	22.44	15.55
21	7.0		17.45	25.99	17.12	7.0		17.22	25.41	17.05

Berdasarkan tabel 5.5 diperoleh :

Beban maksimum : 7 ton

Beban terjadi retak awal : 2.5 ton

6. Hasil pengujian lentur sample balok beton mutu normal tanpa tulangan geser minimum (N-TTG)

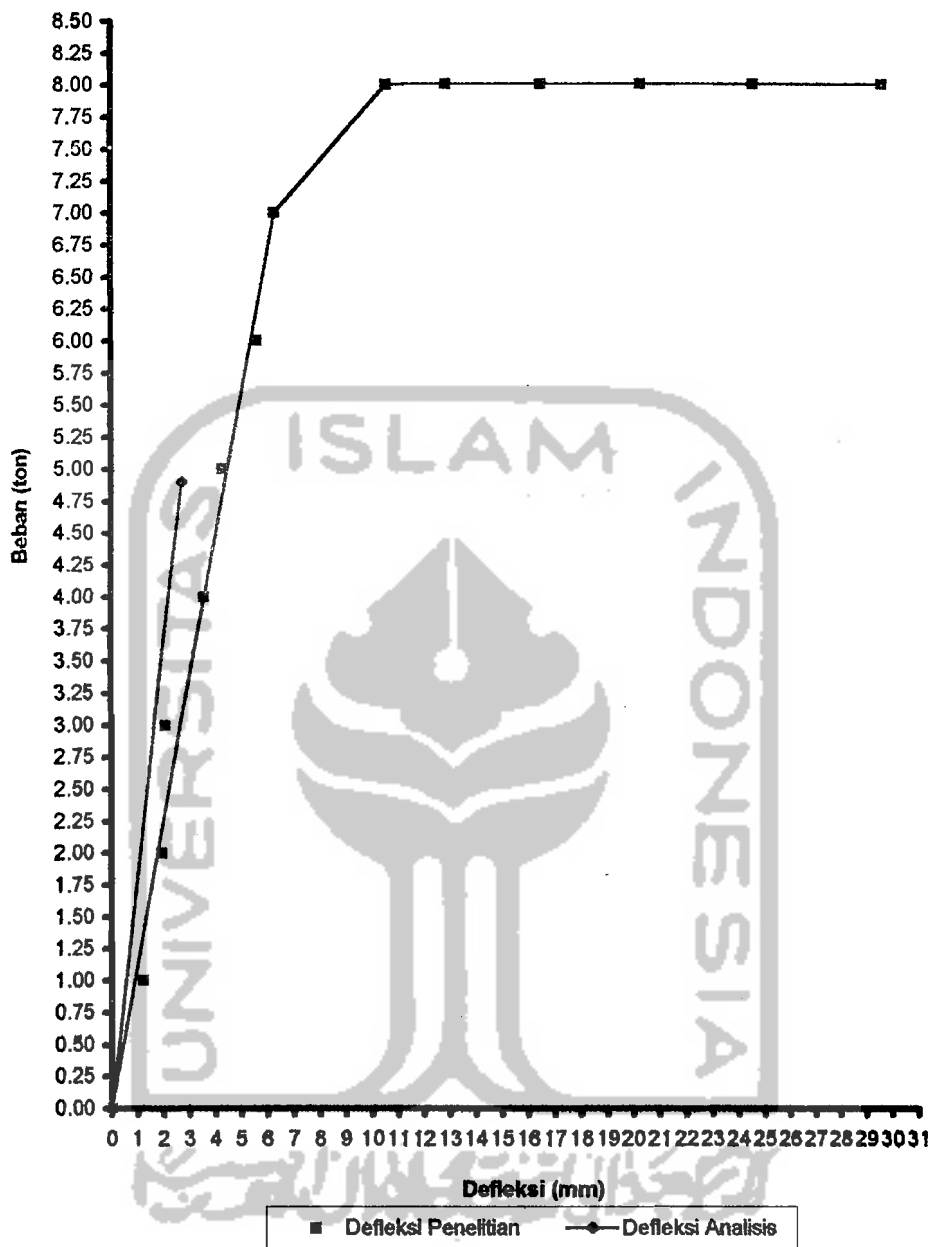
Tabel 5.6 Data Hasil Pengujian Balok Beton Mutu Normal Tanpa Tulangan Geser Minimum

NO	SAMPLE N-1TTG					SAMPLE N-2TTG				
	P (ton)	W (kg)	DEFLEKSI (mm)			P (ton)	W (kg)	DEFLEKSI (mm)		
			δ_1	δ_2	δ_3			δ_1	δ_2	δ_3
1	0.5	145	0.74	0.73	0.6	0.5	144	1.15	1.26	1.44
2	1.0		1.44	1.36	1.14	1.0		1.85	1.92	1.88
3	1.5		1.95	1.88	1.56	1.5		2.48	2.55	2.39
4	2.0		2.74	2.62	2.1	2.0		3.14	3.25	2.95
5	2.5		3.56	3.45	2.69	2.5		3.84	4.44	3.45
6	3.0		4.09	4.09	3.14	3.0		4.55	4.67	3.98
7	3.5		4.94	4.36	3.35	3.5		5.27	5.43	4.54
8	4.0		5.34	5.39	4.23	4.0		5.87	6.15	5.10
9	4.5		5.90	6.08	4.95	4.5		6.42	6.83	5.63
10	5.0		6.78	7.27	6.36	5.0		6.99	7.55	6.23
11	5.5		6.44	8.59	9.76	5.5		7.55	8.30	6.94
12						6.0		8.50	9.43	7.81
13						6.5		9.55	10.97	8.36
14						6.5		10.84	12.8	9.61
15						6.5		14.62	18.94	14.53
16						6.5		15.64	20.34	14.63
17						6.5		16.64	20.54	15.74
18						6.5		17.68	22.24	16.87
19						6.5		18.74	23.94	18.21
20						6.5		19.75	25.47	19.21

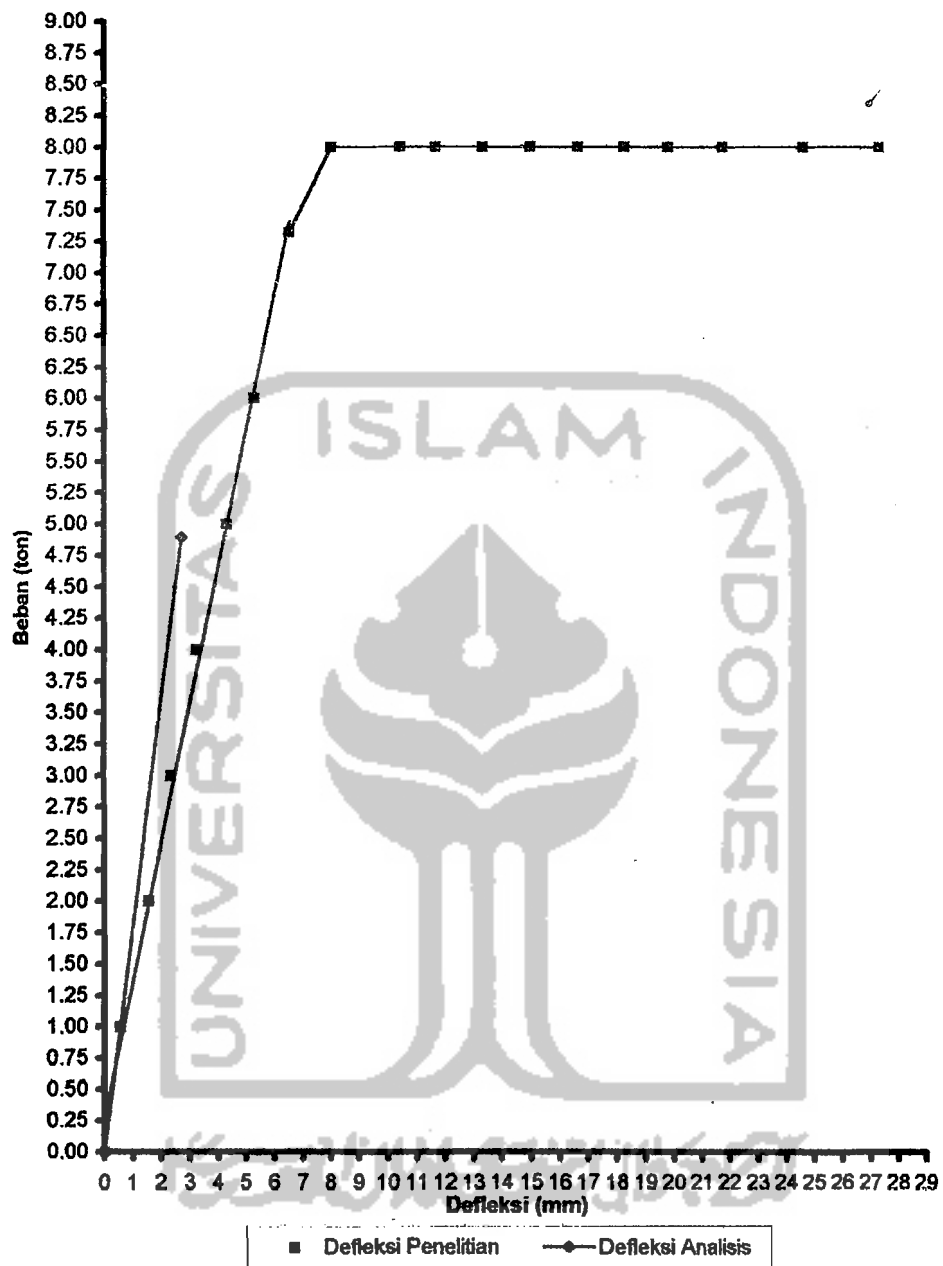
Berdasarkan tabel 5.6 diperoleh :

Beban maksimum : 5.5 ton dan 6,5 ton

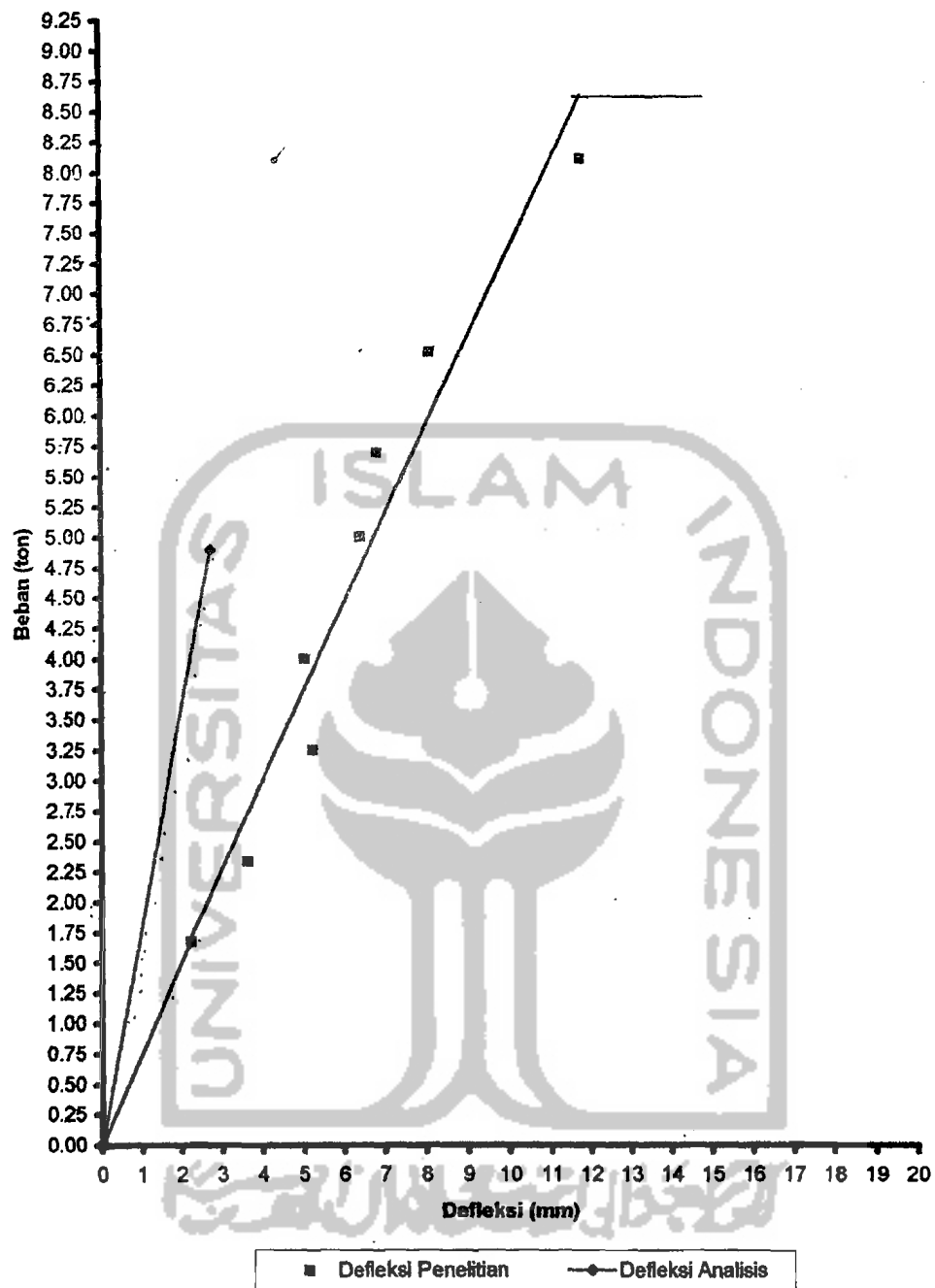
Beban terjadi retak pertama : 2 ton



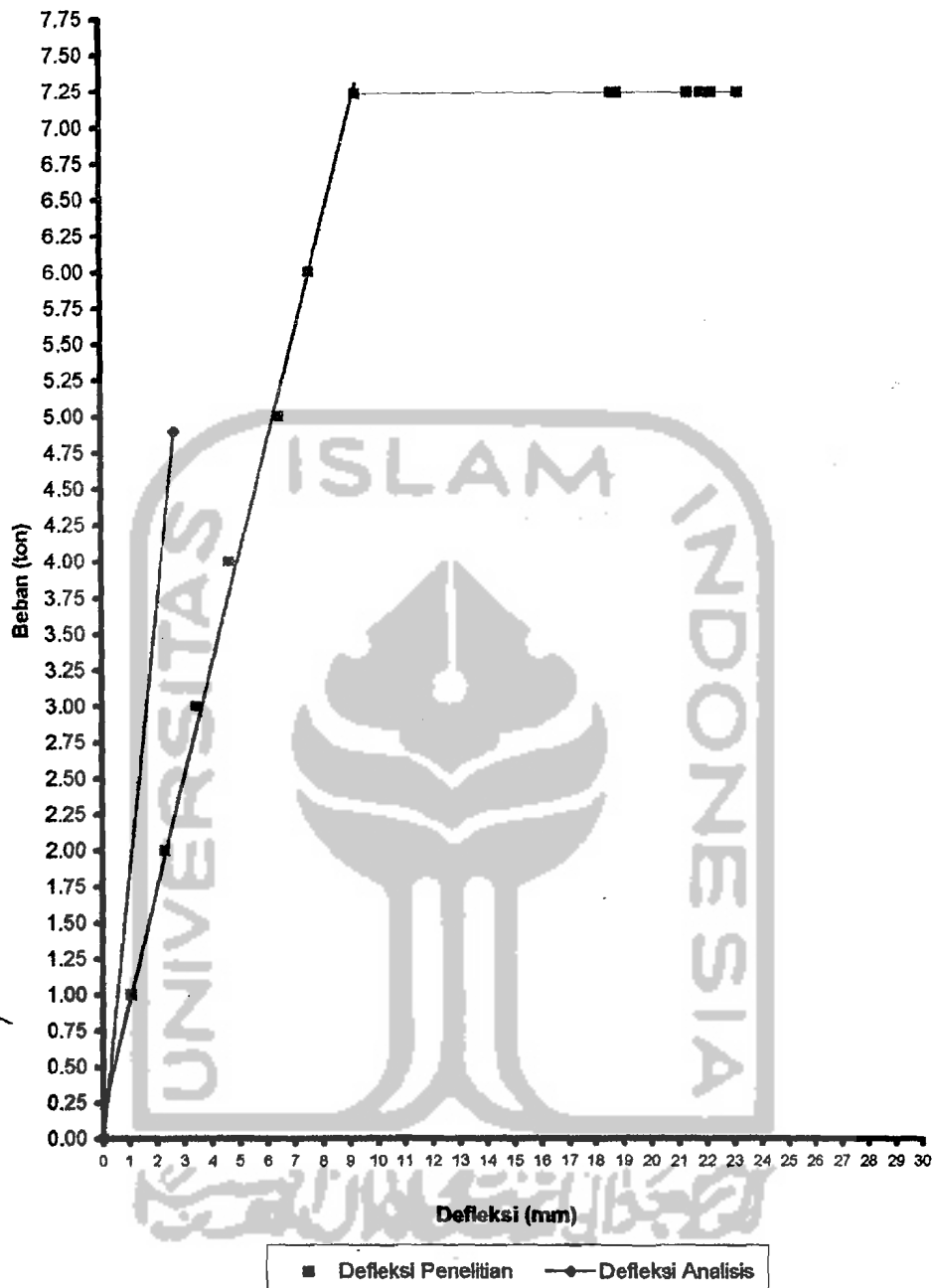
Gambar 5.1 Grafik hubungan antara beban (ton) dan defleksi (mm) balok beton mutu tinggi dengan tulangan geser minimum (H-1DTG) dari hasil penelitian dan dari hasil analisis.



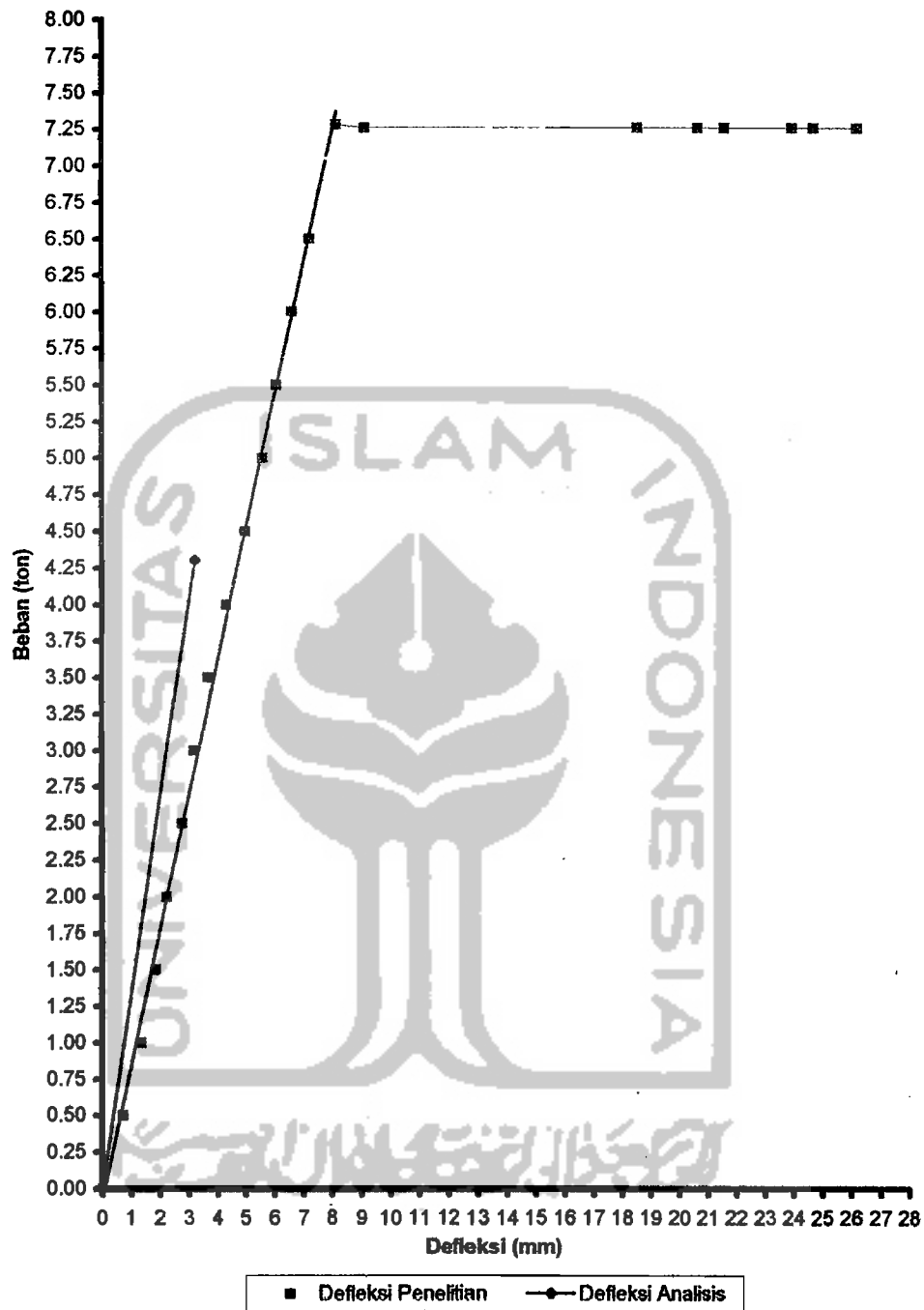
Gambar 5.2 Grafik hubungan antara beban (ton) dan defleksi (mm) balok beton mutu tinggi dengan tulangan geser minimum (H-2DTG) dari hasil penelitian dan dari hasil analisis.



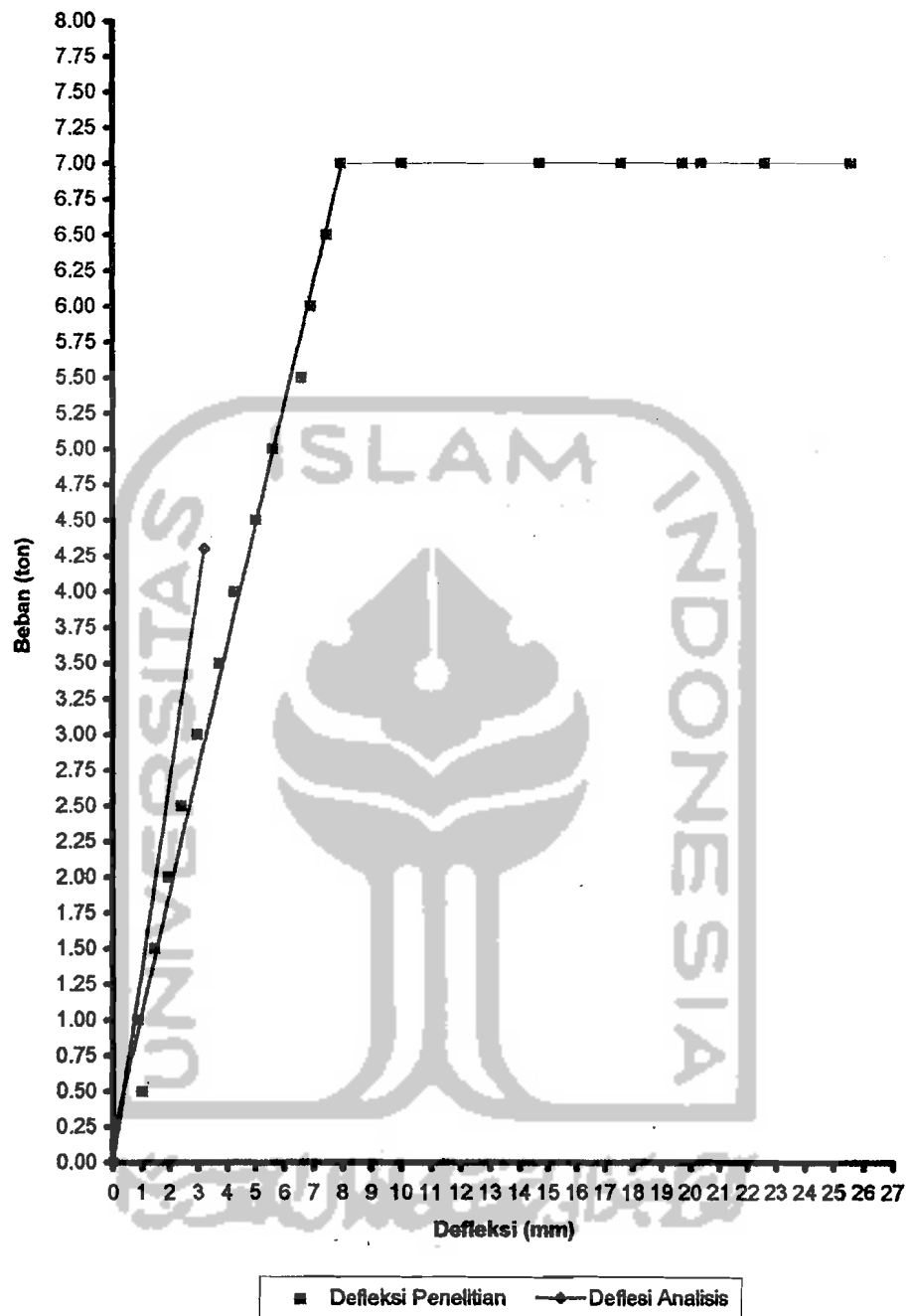
Gambar 5.3 Grafik hubungan antara beban (ton) dan defleksi (mm) balok beton mutu tinggi tanpa tulangan geser minimum (H-3TTG)) dari hasil penelitian dan dari hasil analisis.



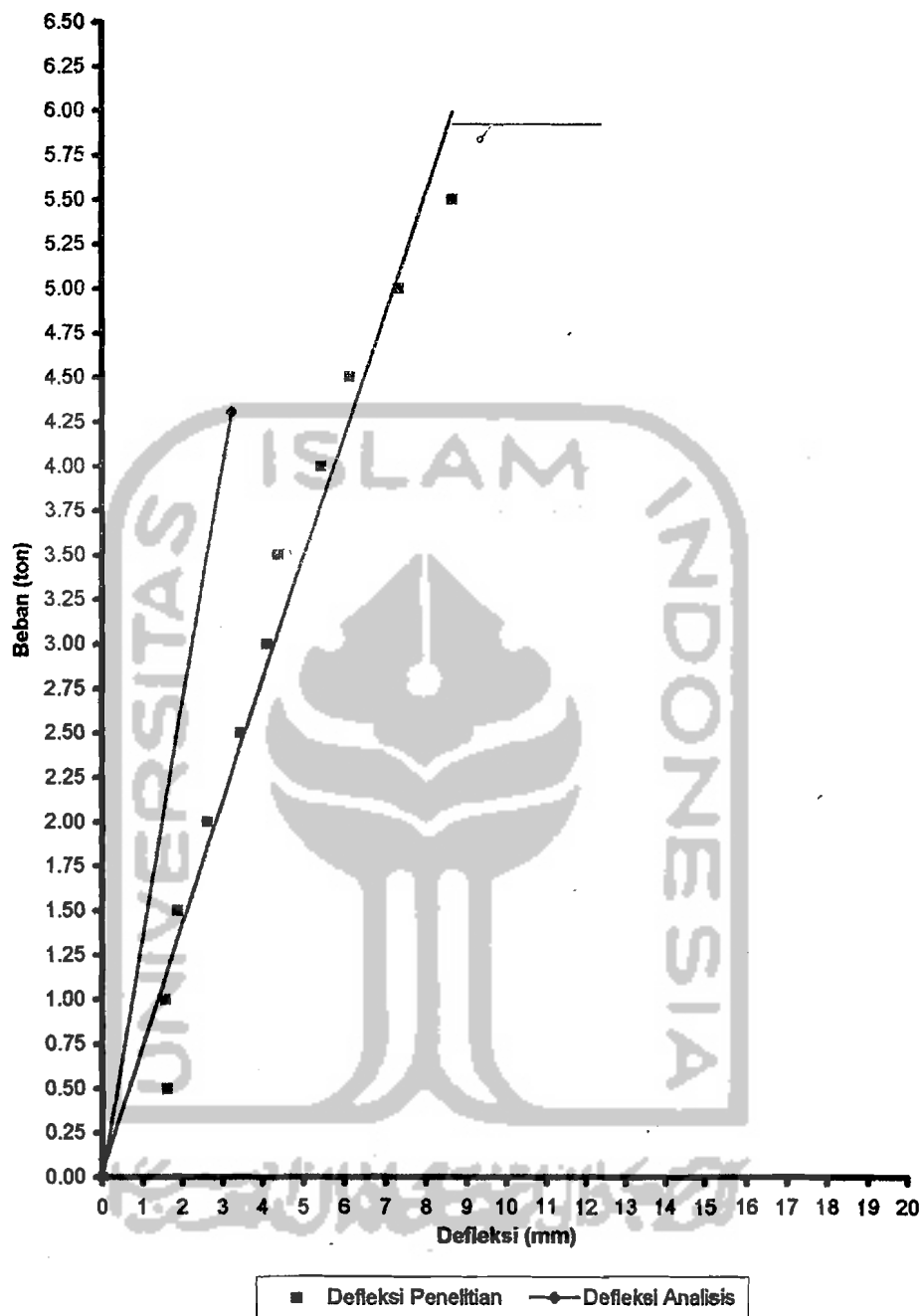
Gambar 5.4 Grafik hubungan antara beban (ton) dan defleksi (mm) balok beton mutu tinggi tanpa tulangan geser minimum (H-4TTG) dari hasil penelitian dan dari hasil analisis.



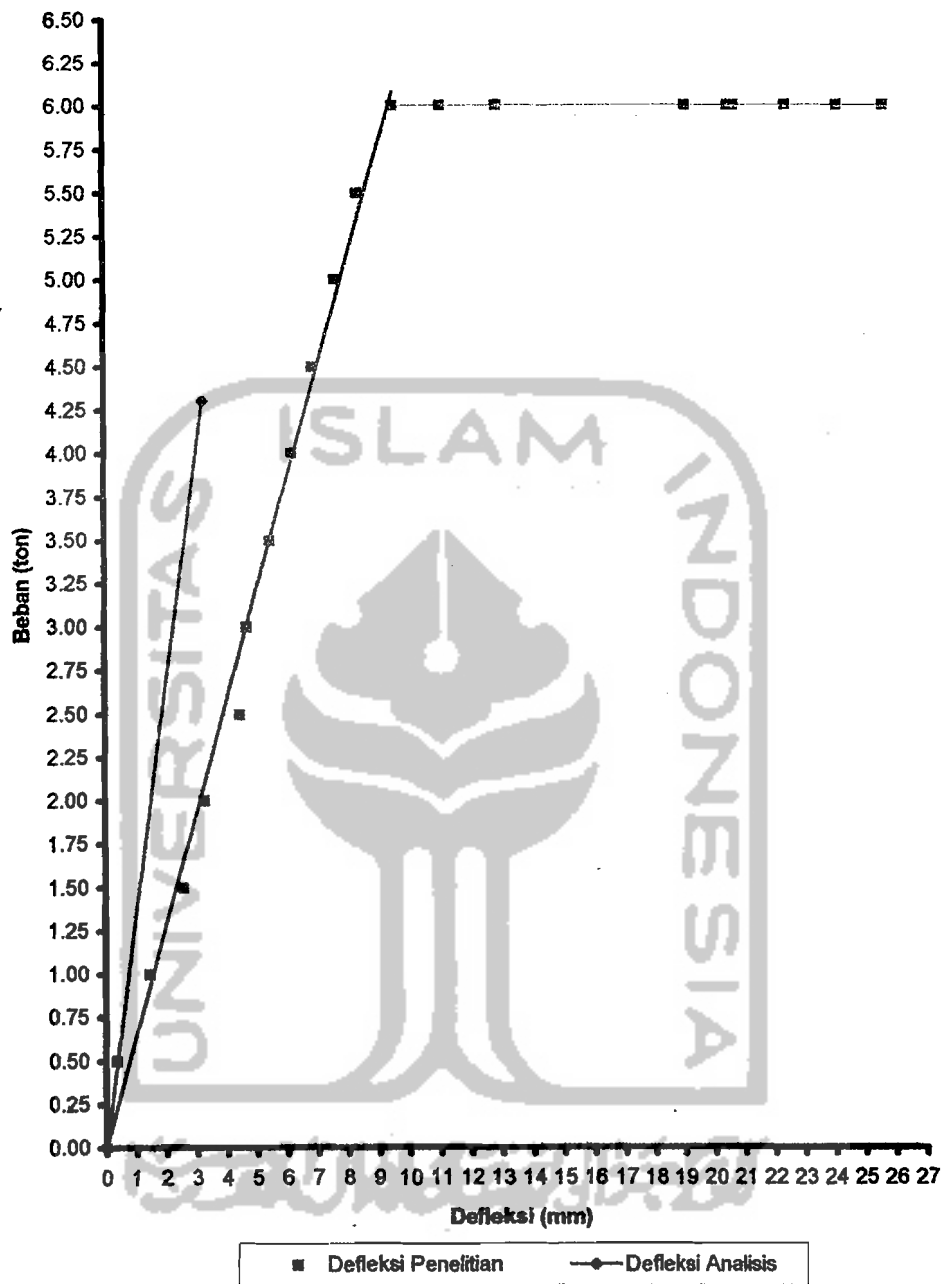
Gambar 5.5 Grafik hubungan antara beban (ton) dan defleksi (mm) balok beton mutu normal dengan tulangan geser minimum (N-1DTG)) dari hasil penelitian dan dari hasil analisis.



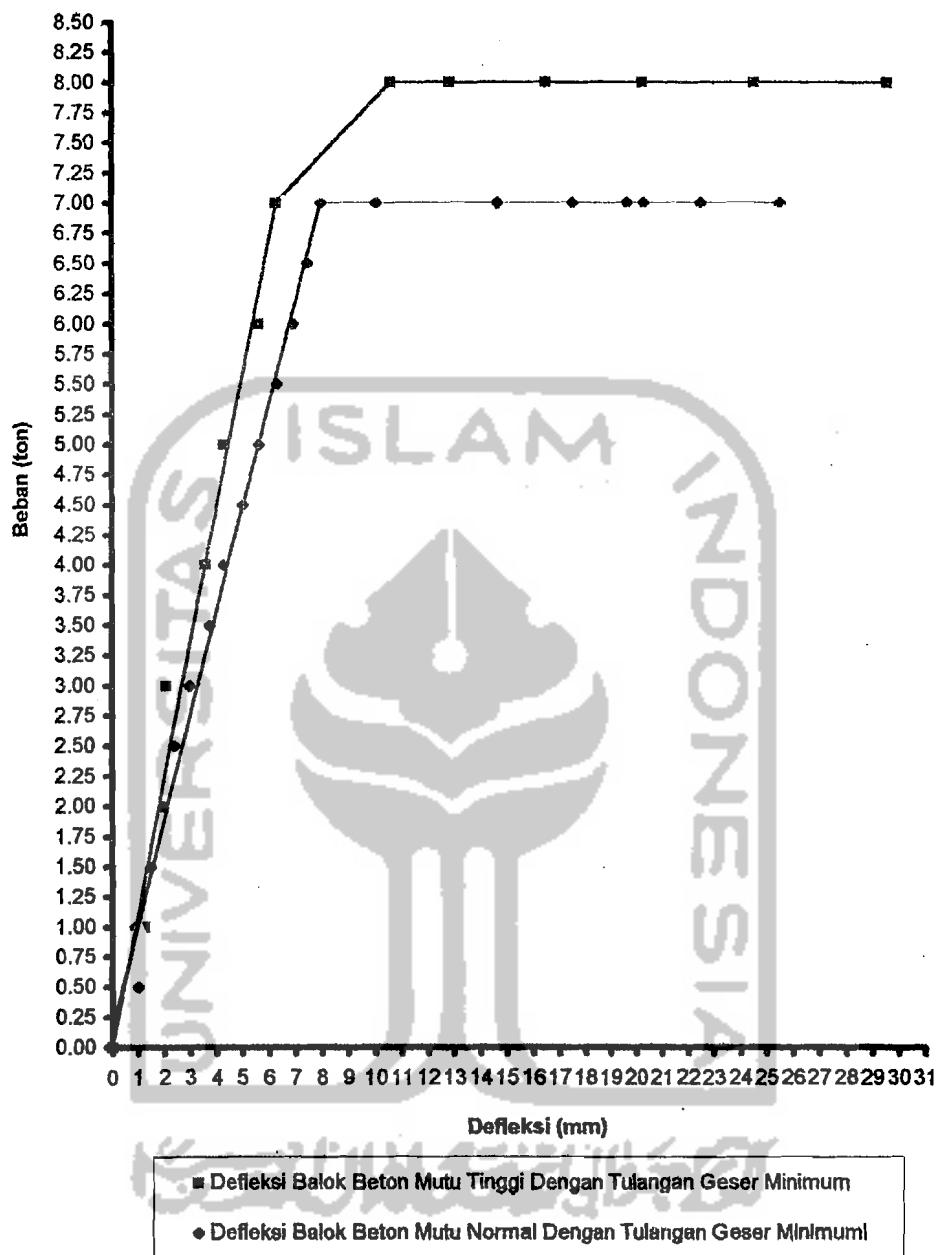
Gambar 5.6 Grafik hubungan antara beban (ton) dan defleksi (mm) balok beton mutu normal dengan tulangan geser minimum (N-2DTG)) dari hasil penelitian dan dari hasil analisis.



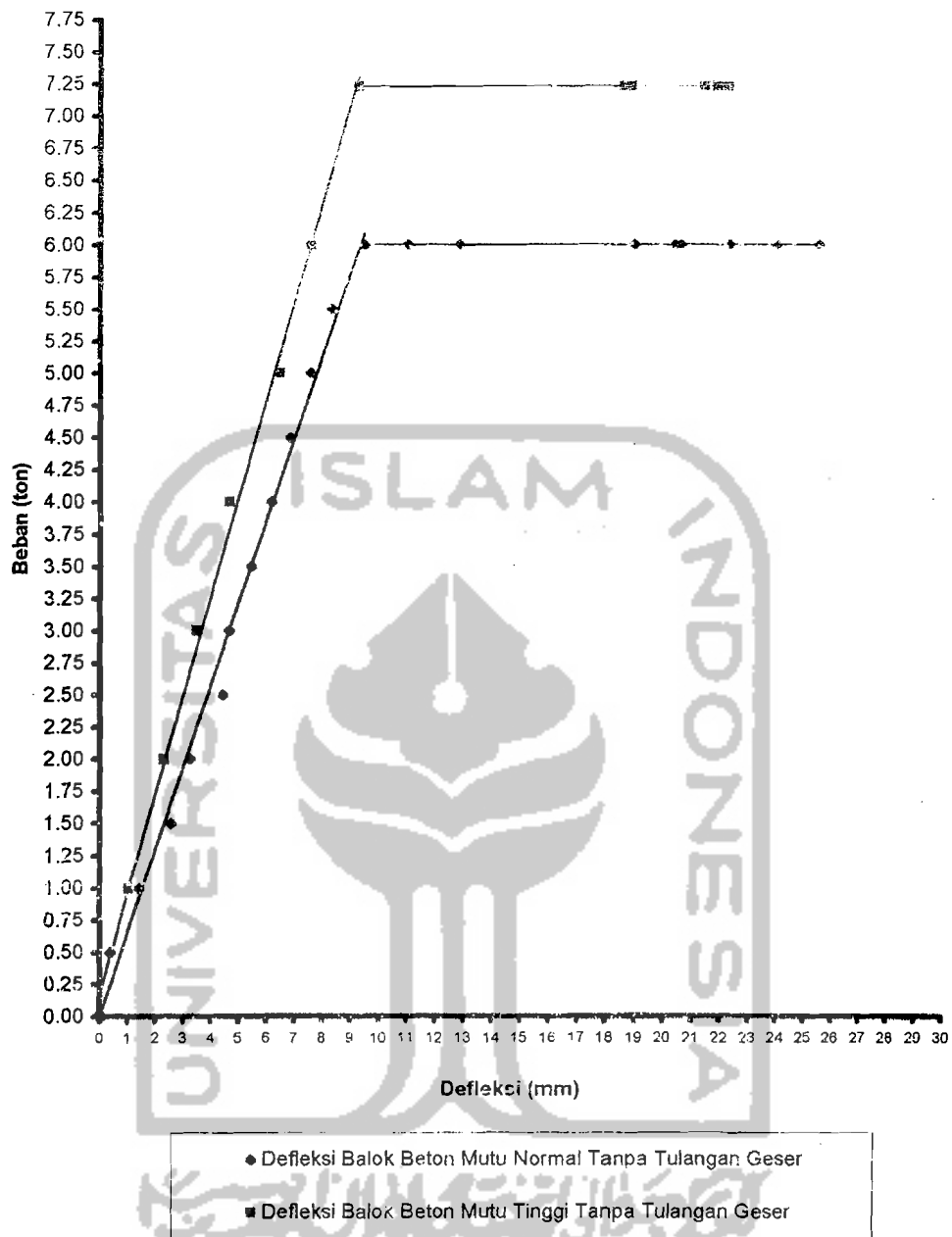
Gambar 5.7 Grafik hubungan antara beban (ton) dan defleksi (mm) balok beton mutu normal tanpa tulangan geser minimum (N-3TTG)) dari hasil penelitian dan dari hasil analisis.



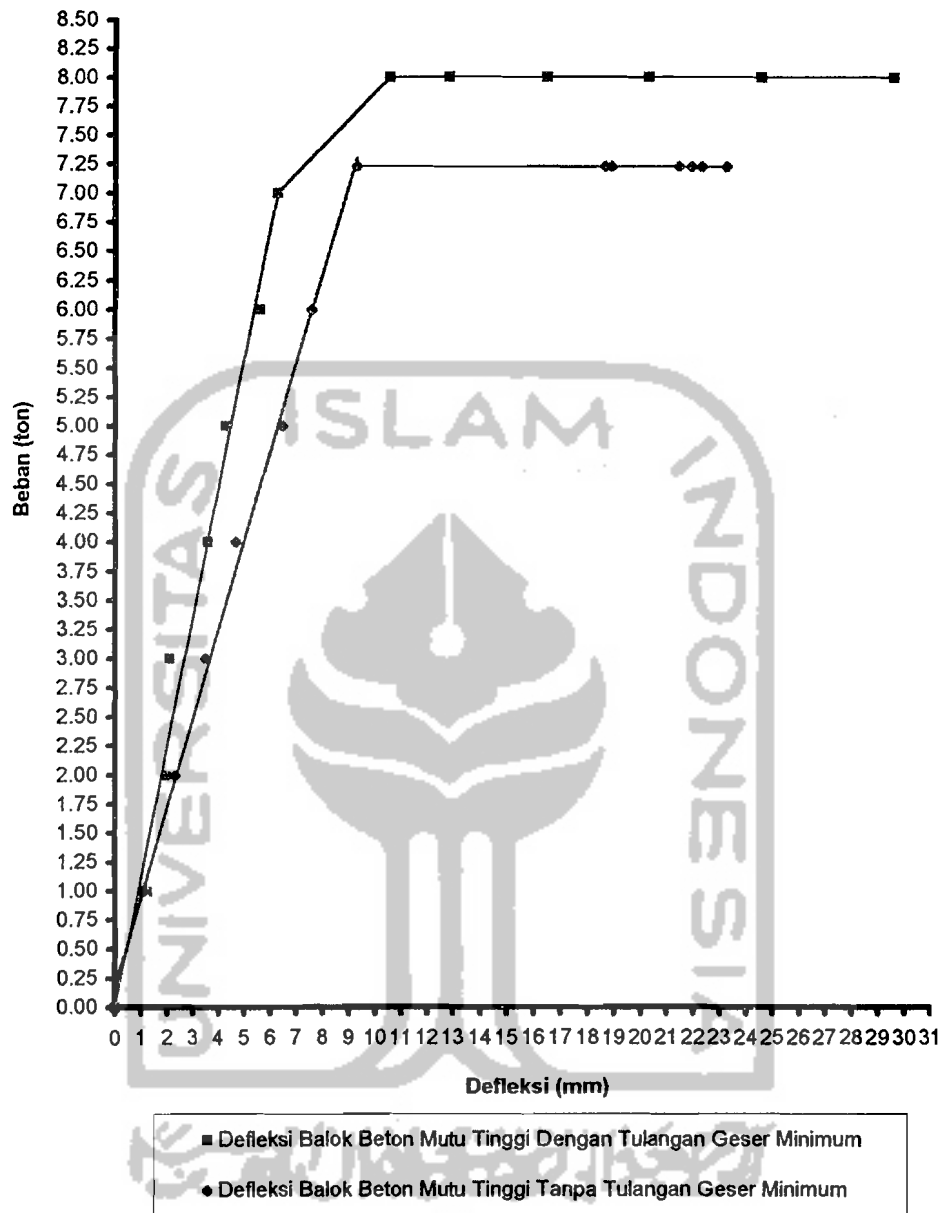
Gambar 5.8 Grafik hubungan antara beban (ton) dan defleksi (mm) balok beton mutu normal tanpa tulangan geser minimum (N-4TTG) dari hasil penelitian dan dari hasil analisis.



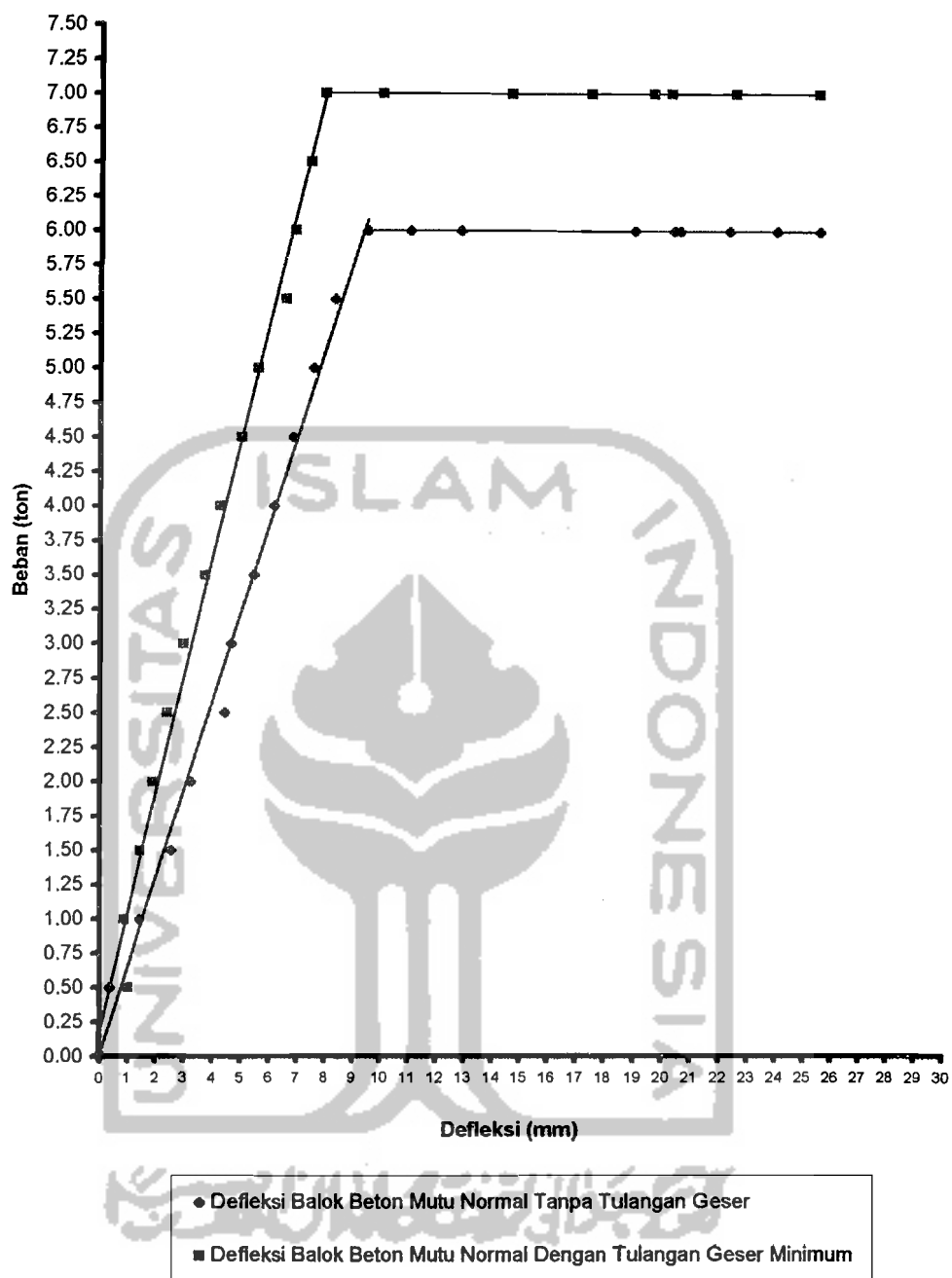
Gambar 5.9 Grafik hubungan antara beban (ton) dan defleksi (mm) balok beton mutu tinggi dengan tulangan geser minimum (H-DTG) dan balok beton mutu normal dengan tulangan geser minimum (N-DTG) hasil penelitian .



Gambar 5.10 Grafik hubungan antara beban (ton) dan defleksi (mm) balok beton mutu tinggi tanpa tulangan geser (H-TTG) dari balok beton mutu normal tanpa tulangan geser (N-TTG) hasil penelitian.



Gambar 5.11 Grafik hubungan antara beban (ton) dan defleksi (mm) balok beton mutu tinggi dengan tulangan geser minimum (H-DTG) dan balok beton mutu tinggi tanpa tulangan geser (H-TTG) dari hasil penelitian.



Gambar 5.12 Grafik hubungan antara beban (ton) dan defleksi (mm) balok beton mutu normal dengan tulangan geser minimum (N-DTG) dan balok beton mutu normal tanpa tulangan geser (N-TTG) dari hasil penelitian.

5.2 Perhitungan Kekuatan Balok Beton Secara Analisis.

5.2.1 Perhitungan Kekuatan Balok Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Analisis

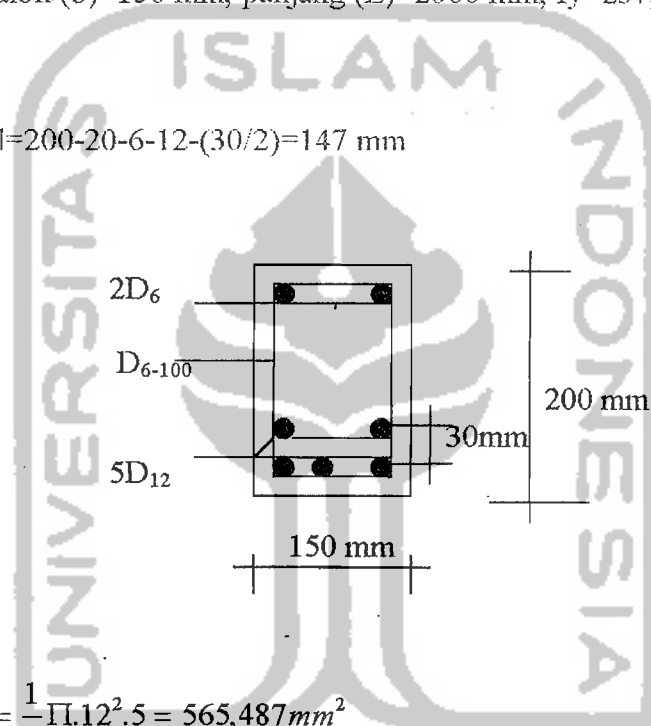
Tulangan Sebelah.

Diketahui data data sebagai berikut:

Lebar balok (b)=150 mm, panjang (L)=2000 mm, $f_y=237,67$ Mpa $f'_c=41,74$

Mpa,

d aktual=200-20-6-12-(30/2)=147 mm



$$A_s = \frac{1}{4} \pi D^2 \cdot 5 = \frac{1}{4} \pi \cdot 12^2 \cdot 5 = 565,487 \text{ mm}^2$$

$$\alpha_1 = 0,85 - \frac{f'_c}{800} \geq 0,725$$

$$\alpha_1 = 0,85 - \frac{41,74}{800} = 0,798$$

$$\beta_1 = 0,95 - \frac{f'_c}{400} \geq 0,70$$

$$\beta_1 = 0,95 - \frac{41,74}{400} = 0,846$$

$$\rho = \frac{As}{bd} = \frac{565,487}{150 \times 147} = 0,02565$$

$$\rho_b = \frac{\alpha_1 \cdot f'c \cdot \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} = \frac{0,798 \cdot 41,74 \cdot 0,846 \left(\frac{600}{600 + 237,67} \right)}{237,67} = 0,0849$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0849 = 0,0637$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{237,67} = 0,00589$$

$$\rho > \rho_{min} \text{ dan } \rho_{maks} > \rho \dots \dots \dots Ok$$

Tinggibaloktekan

$$a = \frac{As \cdot f_y}{\alpha_1 \cdot f'c \cdot b} = \frac{565,467 \cdot 237,67}{0,798 \cdot 41,74 \cdot 150} = 26,9 \text{ mm}$$

Kapasitastampang

$$Mn = As \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 565,487 \cdot 237,67 \left(147 - \frac{26,9}{2} \right) = 17,949 \text{ KNm}$$

$$Mu = \phi Mn = 0,85 \cdot 17,949 = 15,257 \text{ KNm}$$

$$Mu = Mn = \frac{1}{2} Pu \cdot 0,6 + \frac{1}{8} WuL^2$$

$$WD = 150 \cdot 200 \cdot 10^{-6} \cdot 24 = 0,72 \text{ KN/m}$$

$$Wu = 1,2 \cdot 0,72 = 0,864 \text{ KN/m}$$

$$15,257 = 0,5 \cdot Pu \cdot 0,6 + \frac{0,864}{8} \cdot 2^2$$

$$Pu = 49,42 \text{ KN}$$

$$Pu = 4,942 \text{ ton}$$

Kekuatan Geser Beton

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{f'c \cdot b \cdot d} = \frac{1}{6} \sqrt{41,74 \cdot 150 \cdot 147 \cdot 10^{-3}} = 23,74 \text{ KN}$$

Kapasitas lentur balok lebih besar dari pada kapasitas geser balok tanpa tulangan

geser.

Jika digunakan tulangan geser minimum maka :

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{56,55 \cdot 237,67 \cdot 147}{100} = 19,757 \text{ KN}$$

Kapasitas geser total

$$V_t = V_c + V_s = 23,74 + 19,757 = 43,497 \text{ KN}$$

Kapasitas lentur lebih besar dari kapasitas geser balok dengan tulangan geser

Dari perhitungan maka kegagalan yang terjadi adalah kegagalan geser.

Perhitungan deflesi pada beban analisis:

Diketahui: $a=600\text{mm}$, $A_s=565,487\text{mm}^2$, $b=150\text{mm}$, $h=200\text{mm}$, $d=150\text{mm}$,

$L=2000\text{mm}$.

$$E_c = (3320 \sqrt{f'_c} + 6900) \left(\frac{W_c}{2300} \right)^{1,5} = (3320 \sqrt{41,74} + 6900) \left(\frac{2400}{2300} \right)^{1,5} = 30218,18273 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{30218,18273} = 6,62$$

Jarak pusat berat keserat terluar

$$y = \frac{\left(\frac{b \cdot h^2}{2} \right) + (n-1) A_s \cdot d}{b \cdot h + (n-1) A_s} = \frac{\left(\frac{150 \cdot 200^2}{2} \right) + (6,62 - 1) \cdot 565,487 \cdot 147}{150 \cdot 200 + (6,62 - 1) \cdot 565,487} = 104,502 \text{ mm}$$

$$I_t = \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot (y - b)^2 + (n-1) \cdot A_s \cdot (d - y)^2$$

$$I_t = \frac{150 \cdot 200^3}{12} + 150 \cdot 200 \cdot (104,502 - 147)^2 + (6,62 - 1) \cdot 565,487 \cdot (147 - 104,502)^2 = 159922189,1 \text{ mm}^4$$

Defleksi maksimum pada tengah bentang (Δ_{mak})

$$\Delta_{\text{mak}} = \frac{P \cdot a}{24 \cdot EI} (3L^2 - 4a^2) = \frac{49420 \cdot 600}{24 \cdot 30218,18273 \cdot 159922189,1} (3 \cdot 2000^2 - 4 \cdot 600^2) = 2,7 \text{ mm}$$

5.2.2 Perhitungan Kekuatan Balok Beton Mutu Normal Berdasarkan Analisis

Tulangan Sebelah.

Diketahui data data sebagai berikut:

Lebar balok (b)=150 mm, panjang (L)=2000 mm, $f_y=237,67$ Mpa $f'_c=23,08$

Mpa, d aktual=147

mm.

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{565,487}{150 \times 147} = 0,02565$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 23,08 \cdot 0,85 \left(\frac{600}{600 + 237,67} \right)}{237,67} = 0,0503$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0503 = 0,0503$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{237,67} = 0,00589$$

$$\rho > \rho_{min} \text{ dan } \rho_{maks} > \rho \dots \dots \dots \text{Ok}$$

Tinggibalo ktekan

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{565,467 \cdot 237,67}{0,85 \cdot 23,08 \cdot 150} = 45,67 \text{ mm}$$

Kapasitast ampang

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 565,487 \cdot 237,67 \left(147 - \frac{45,67}{2} \right) = 16,688 \text{ KNm}$$

$$M_u = \phi M_n = 0,85 \cdot 16,688 = 13,3504 \text{ KNm}$$

$$M_u = M_n = \frac{1}{2} P_u \cdot 0,6 + \frac{1}{8} W_u L^2$$

$$W_u = 150 \cdot 200 \cdot 10^{-6} \cdot 24 = 0,72 \text{ KN / m}$$

$$W_u = 1,2 \cdot 0,72 = 0,864 \text{ KN / m}$$

$$14,8639 = 0,5 \cdot P_u \cdot 0,6 + \frac{0,864}{8} \cdot 2^2$$

$$P_u = 43,061 \text{ KN}$$

$$P_u = 4,30611 \text{ ton}$$

Gaya geser akibat beban luar adalah

$P_u = 8000$ kg (beban maksimum)

$$V_u = \frac{1}{2} P_u = \frac{1}{2} \cdot 8000 = 4000 \text{ kg} = 40 \text{ KN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d = 14,7$ cm dari muka perletakan balok (setengah bentang 100 cm)

$$\frac{100 - 14,7}{100} \cdot 40 = 34,12 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 0,6 \cdot 23,74 = 14,244 \text{ KN} < V_u = 34,12 \text{ KN}$$

Kapasitas momen adalah

$$W = 155,5 \text{ kg} = 1,555 \text{ KN}$$

$$q = \frac{1,555}{2} = 0,7775 \text{ KN/m}$$

$$M_u = \frac{P_u}{2} \cdot 0,6 + \frac{q}{2} L^2 = \frac{80}{2} \cdot 0,6 + \frac{0,7775}{8} \cdot 2^2 = 24,38875 \text{ KNm}$$

$$M_u \geq \phi M_n = 15,257 \text{ KNm}$$

2. Sampel balok mutu tinggi dengan menggunakan tulangan geser minimum (H-2DTG)

Kekuatan Geser yang disumbangkan oleh Beton adalah:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{41,74} \cdot 150 \cdot 147 \cdot 10^{-3} = 23,74 \text{ KN}$$

Gaya geser akibat beban luar adalah

$P_u = 8000 \text{ kg}$ (beban maksimum)

$$V_u = \frac{1}{2} P_u = \frac{1}{2} \cdot 8000 = 4000 \text{ kg} = 40 \text{ KN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d = 14,7 \text{ cm}$ dari muka perletakan balok (setengah bentang 100 cm)

$$\frac{100 - 14,7}{100} \cdot 40 = 34,12 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 0,6 \cdot 23,74 = 14,244 \text{ KN} < V_u = 34,12 \text{ KN}$$

Kapasitas momen adalah

$$W = 156 \text{ kg} = 1,56 \text{ KN}$$

$$q = \frac{1,56}{2} = 0,78 \text{ KN/m}$$

$$M_u = \frac{P_u}{2} \cdot 0,6 + \frac{q}{2} l^2 = \frac{80}{2} \cdot 0,6 + \frac{0,78}{8} \cdot 2^2 = 24,39 \text{ KNm}$$

$$M_u \geq \phi M_n = 15,257 \text{ KNm}$$

3. Sampel balok mutu tinggi tanpa menggunakan tulangan geser minimum

(H-3TTG)

Kekuatan Geser yang disumbangkan oleh Beton adalah:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_{c,b,d}} = \frac{1}{6} \sqrt{41,74 \cdot 150 \cdot 147 \cdot 10^{-3}} = 23,74 \text{ KN}$$

Gaya geser akibat beban luar adalah

$P_u = 7000 \text{ kg}$ (beban maksimum)

$$V_u = \frac{1}{2} P_u = \frac{1}{2} \cdot 7000 = 3500 \text{ kg} = 35 \text{ KN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d = 14,7 \text{ cm}$ dari muka perletakan balok (setengah bentang 100 cm)

$$\frac{100 - 14,7}{100} \cdot 35 = 29,855 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 0,6 \cdot 23,74 = 14,244 \text{ KN} < V_u = 29,855 \text{ KN}$$

Kapasitas momen adalah

$$W = 150,5 \text{ kg} = 1,505 \text{ KN}$$

$$q = \frac{1,505}{2} = 0,7525 \text{ KN/m}$$

$$M_u = \frac{P_u}{2} \cdot 0,6 + \frac{q}{2} L^2 = \frac{70}{2} \cdot 0,6 + \frac{0,7525}{8} \cdot 2^2 = 21,37625 \text{ KNm}$$

$$M_u > \phi M_n = 15,257 \text{ KNm}$$

4. Sampel balok mutu tinggi dengan menggunakan tulangan geser minimum (H-4TTG)

Kekuatan Geser yang disumbangkan oleh Beton adalah:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{41,74} \cdot 150 \cdot 147 \cdot 10^{-3} = 23,74 \text{ KN}$$

Gaya geser akibat beban luar adalah

$P_u = 7000 \text{ kg}$ (beban maksimum)

$$V_u = \frac{1}{2} P_u = \frac{1}{2} \cdot 7000 = 3500 \text{ kg} = 35 \text{ KN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d = 14,7 \text{ cm}$ dari muka perletakan balok (setengah bentang 100 cm)

$$\frac{100 - 14,7}{100} \cdot 35 = 29,855 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 0,6 \cdot 23,74 = 14,244 \text{ KN} < V_u = 29,855 \text{ KN}$$

Kapasitas momen adalah

$$W = 149,5 \text{ kg} = 1,495 \text{ KN}$$

$$q = \frac{1,495}{2} = 0,7475 \text{ KN/m}$$

$$M_u = \frac{P_u}{2} \cdot 0,6 + \frac{q}{2} L^2 = \frac{70}{2} \cdot 0,6 + \frac{0,7475}{8} \cdot 2^2 = 21,3738 \text{ KNm}$$

$$M_u \geq \phi M_n = 13,350 \text{ KNm.}$$

5. Sampel balok mutu normal dengan menggunakan tulangan geser minimum (N-1DTG)

Kekuatan Geser yang disumbangkan oleh Beton adalah:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{23,08} \cdot 150 \cdot 147 \cdot 10^{-3} = 17,655 \text{ KN}$$

Gaya geser akibat beban luar adalah

$V_u = 7000 \text{ kg}$ (beban maksimum)

$$V_u = \frac{1}{2} P_u = \frac{1}{2} \cdot 7000 = 3500 \text{ kg} = 35 \text{ KN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d = 14,7 \text{ cm}$ dari muka perletakan balok (setengah bentang 100 cm)

$$\frac{100 - 14,7}{100} \cdot 35 = 29,855 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 0,6 \cdot 17,655 = 10,593 \text{ KN} \leq V_u = 29,855 \text{ KN}$$

Kapasitas momen adalah

$$W = 140,5 \text{ kg} = 1,405 \text{ KN}$$

$$q = \frac{1,405}{2} = 0,7025 \text{ KN/m}$$

$$M_u = \frac{P_u}{2} \cdot 0,6 + \frac{q}{2} L^2 = \frac{70}{2} \cdot 0,6 + \frac{0,7025}{8} \cdot 2^2 = 21,3125 \text{ KNm}$$

$$M_u \geq \phi M_n = 13,350 \text{ KNm.}$$

6. Sampel balok mutu normal dengan menggunakan tulangan geser minimum

(N-2DTG)

Kekuatan Geser yang disumbangkan oleh Beton adalah:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{23,08} \cdot 150 \cdot 147 \cdot 10^{-3} = 17,655 \text{ KN}$$

Gaya geser akibat beban luar adalah

$P_u = 7000$ kg (beban maksimum)

$$V_u = \frac{1}{2} P_u = \frac{1}{2} \cdot 7000 = 3500 \text{ kg} = 35 \text{ KN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d = 14,7$ cm dari muka perletakan balok (setengah bentang 100 cm)

$$\frac{100 - 14,7}{100} \cdot 35 = 29,855 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 0,6 \cdot 17,655 = 10,593 \text{ KN} < V_u = 29,855 \text{ KN}$$

Kapasitas momen adalah

$$W = 141,5 \text{ kg} = 1,415 \text{ KN}$$

$$q = \frac{1,415}{2} = 0,7075 \text{ KN/m}$$

$$M_u = \frac{P_u}{2} \cdot 0,6 + \frac{q}{2} L^2 = \frac{70}{2} \cdot 0,6 + \frac{0,7075}{8} \cdot 2^2 = 21,35375 \text{ KNm}$$

$$M_u > \phi M_n = 13,350 \text{ KNm.}$$

7. Sampel balok mutu normal tanpa menggunakan tulangan geser minimum

(N-3TTG)

Kekuatan Geser yang disumbangkan oleh Beton adalah:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{23,08} \cdot 150 \cdot 147 \cdot 10^{-3} = 17,655 \text{ KN}$$

Gaya geser akibat beban luar adalah

$P_u = 5500$ kg (beban maksimum)

$$V_u = \frac{1}{2} P_u = \frac{1}{2} \cdot 5500 = 2750 \text{ kg} = 27,5 \text{ KN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d = 14,7$ cm dari muka perletakan balok (setengah bentang 100 cm)

$$\frac{100 - 14,7}{100} \cdot 27,5 = 23,4575 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 0,6 \cdot 17,655 = 10,593 \text{ KN} \leq V_u = 23,4575 \text{ KN}$$

Kapasitas momen adalah

$$W = 145 \text{ kg} = 1,45 \text{ KN}$$

$$q = \frac{1,45}{2} = 0,725 \text{ KN/m}$$

$$M_u = \frac{P_u}{2} \cdot 0,6 + \frac{q}{2} L^2 = \frac{55}{2} \cdot 0,6 + \frac{0,725}{8} \cdot 2^2 = 16,8625 \text{ KNm}$$

$$M_u \geq \phi M_n = 13,350 \text{ KNm}$$

8. Sampel balok mutu normal tanpa menggunakan tulangan geser minimum (N-4TTG)

Kekuatan Geser yang disumbangkan oleh Beton adalah:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{23,08} \cdot 150 \cdot 147 \cdot 10^{-3} = 17,655 \text{ KN}$$

Gaya geser akibat beban luar adalah

$P_u = 6500 \text{ kg}$ (beban maksimum)

$$V_u = \frac{1}{2} P_u = \frac{1}{2} \cdot 6500 = 3250 \text{ kg} = 32,5 \text{ KN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d = 14,7 \text{ cm}$ dari muka perletakan balok (setengah bentang 100 cm)

$$\frac{100 - 14,7}{100} \cdot 32,5 = 27,7225 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 0,6 \cdot 17,655 = 10,593 \text{ KN} \leq V_u = 27,7225 \text{ KN}$$

Kapasitas momen adalah

$$W = 144 \text{ kg} = 1,44 \text{ KN}$$

$$q = \frac{1,44}{2} = 0,72 \text{ KN/m}$$

$$M_u = \frac{P_u}{2} \cdot 0,6 + \frac{q}{2} L^2 = \frac{65}{2} \cdot 0,6 + \frac{0,72}{8} \cdot 2^2 = 19,86 \text{ KNm}$$

$$M_u \geq \phi M_n = 13,350 \text{ KNm.}$$

5.4 Pembahasan

Pembahasan didasarkan pada hasil percobaan. Dari data diatas dapat diamati sejauh mana kemampuan tulangan geser minimum dalam menahan beban yang terjadi dalam balok mutu tinggi dan balok mutu normal dengan tulangan geser minimum dengan jarak maksimum ($d/2$) dan tanpa tulangan geser minimum.

Sebelum dilaksanakan pengujian balok dilaksanakan terlebih dahulu pengujian terhadap kuat tarik tulangan, diperoleh tegangan leleh rata-rata tulangan ϕ_{12}

dan ϕ_6 adalah sebesar 237,67 Mpa (Tabel 5.1) . Dengan mutu baja sebesar itu maka baja tergolong baja mutu rendah. Pada pengujian kuat desak beton ditentukan dengan uji silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm baik beton mutu normal dan beton mutu tinggi yang dirawat dengan kondisi standart laboratorium dan dilakukan pengujian kuat desak silinder beton setelah berumur 28 hari diperoleh hasil untuk beton mutu normal kuat tekan beton rata-rata ($f'_c=23,08$ Mpa) dan untuk beton mutu tinggi diperoleh kuat tekan beton rata-rata ($f'_c=41,74$ Mpa) (Tabel 5.2).

Pada pengujian balok sebagai pembanding balok beton mutu normal dan balok beton mutu tinggi, masing-masing mempunyai variasi yaitu dengan menggunakan tulangan sengkang minimum dengan jarak sengkang vertikal maksimum untuk beton non pratekan (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.5 ayat 4) yaitu sebesar $d/2$ dan tanpa tulangan geser.

Pada beberapa sampel terjadi ketidak seragaman kekuatan benda uji dalam menahan gaya geser meskipun tulangan yang dipakai sama, hal ini terjadi karena beberapa faktor antara lain monolitas antara agregat dan tulangan tidak sama, mutu beton pada balok yang tidak seragam dikarenakan dalam pengecoran setiap balok tidak dapat sekaligus karena kapasitas molen yang digunakan lebih kecil dibandingkan kapasitas balok, pemadatan balok yang tidak merata pada setiap sampel mengakibatkan balok yang mempunyai banyak rongga (keropos) dapat menurunkan kekuatannya, dan juga dapat disebabkan sampel benda uji yang kurang rata sehinga

ketika diadakan pengujian pada balok, beban yang diterima tidak merata ditahan oleh balok sampel.

Pada pengujian juga terlihat, bahwa beton bertulang telah mengalami retak pertama (retak-retak rambut) karena lentur sampai retak melebar menuju daerah tekan sampai beban maksimum ternyata balok masih mampu menahan gaya geser yang dapat ditahan oleh tulangan geser, sehingga balok yang menahan beban maksimum tidak mengalami keruntuhan secara tiba-tiba (brittle). Pada beberapa sampel balok terdapat pola retak yang disebabkan oleh gaya geser, yaitu retak yang menjalar dari tumpuan berarah diagonal menuju daerah tertekan dan runtuh secara tiba-tiba (getas) setelah balok menerima beban maksimum.

5.5 Perilaku Geser Pada Balok Beton Dengan Tulangan Geser Minimum

Perilaku geser pada balok beton dengan tulangan geser minimum pada beton mutu normal ($f'_c=23,08$ Mpa) retak –retak rambut pertama timbul pada beban 2,5 ton yang disebabkan oleh lentur yaitu retak vertikal di tengah bentang yang menjalar ke daerah tekan kemudian diikuti retak-retak rambut arah diagonal ($\leq 45^\circ$) pada daerah yang tegangan geser lebih besar atau sama dengan besar momen yang terjadi (pada jarak $1,5d$ sampai $2d$) yang menjalar menuju daerah tekan (Gambar 5.13). Adapun beban ekstrim yang teramati, yaitu beban maksimum yang ditahan balok sebesar 7 ton (Tabel 5.5). Sedangkan pada beton mutu tinggi ($f'_c=41,74$ Mpa) retak-retak rambut pertama timbul pada beban 3,5 ton yang disebabkan oleh lentur yaitu retak

vertikal di tengah bentang yang menjalar ke daerah tekan (Gambar 5.11) kemudian diikuti retak- retak rambut arah diagonal ($\leq 45^\circ$) pada daerah yang tegangan geser lebih besar atau sama dengan besar momen yang terjadi (pada jarak $1,5d$ sampai $2d$) yang menjalar menuju daerah tekan (Gambar 5.11). Adapun beban ekstrim yang teramati, yaitu beban maksimum yang ditahan balok sebesar 8 ton (Tabel 5.3)

Dari (Gambar 5.9) dapat dilihat bahwa kemampuan dan defleksi balok mutu normal dengan tulangan geser minimum dibandingkan dengan balok mutu tinggi dengan tulangan geser minimum memperlihatkan bahwa balok dengan mutu lebih tinggi mempunyai kekuatan dan defleksi lebih besar dibandingkan balok dengan mutu normal, keduanya mempunyai cadangan kekuatan yang cukup untuk dapat menahan gaya geser yang timbul sehingga balok tidak runtuh karena geser tapi runtuh karena lentur.

5.6 Perilaku Balok Tanpa Tulangan Geser

Perilaku geser pada balok beton tanpa tulangan geser minimum pada beton mutu normal ($f'_c=23,08 \text{ Mpa}$) retak –retak rambut pertama timbul pada beban 2 ton, retak ini terjadi hampir diseluruh balok tetapi retak yang signifikan terjadi pada daerah perletakan yaitu berupa retak arah diagonal ($\leq 45^\circ$) menuju daerah tekan sepanjang bentang geser (a) yaitu dari tumpuan sampai ke peletakan beban, ketika balok mencapai beban maksimum (5,5 ton) tiba-tiba balok runtuh pada daerah perletakan (Gambar 5.14) tanpa adanya peringatan terlebih dahulu (getas) atau

ditandai dengan membesarnya lendutan secara tiba-tiba terutama pada daerah bentang geser

Perilaku geser pada balok beton tanpa tulangan geser minimum pada beton mutu tinggi ($f'_c=41,74$ Mpa) retak –retak rambut pertama timbul pada beban 3 ton, retak ini terjadi hampir diseluruh balok tetapi retak yang signifikan terjadi pada daerah perletakan yaitu berupa retak arah diagonal ($\leq 45^\circ$) menuju daerah tekan sepanjang bentang geser (a) yaitu dari tumpuan sampai ke peletakan beban, ketika balok mencapai beban maksimum (7 ton) tiba-tiba balok runtuh pada daerah perletakan (Gambar 5.12) tanpa adanya peringatan terlebih dahulu (getas) atau ditandai dengan membesarnya lendutan secara tiba-tiba terutama pada daerah bentang geser

Dari (Gambar 5.10) dan keterangan di atas dapat dilihat bahwa beton yang mempunyai kekuatan yang lebih tinggi (mutu tinggi) ternyata masih mampu menahan beban dan memiliki cadangan kekuatan lebih baik dibanding beton mutu normal dapat dilihat dari lendutan yang terjadi lebih besar sebelum terjadi keruntuhan.