

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 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 5.1, 5.2 dan 5.3.

1. Hasil pengujian lentur sampel *Underreinforced* ("U").

Tabel 5.1 Data Hasil Pengujian Lentur Sampel *Underreinforced*

No	SAMPEL U-1			SAMPEL U-2			SAMPEL U-3		
	P (kg)	W (kg)	δ 10 ² mm	P (kg)	W (kg)	δ 10 ² mm	P (kg)	W (kg)	δ 10 ² mm
1	250	119.5	12	250	120	32	250	119	41
2	500		47	500		64	500		77
3	7500		86	750		107	750		131
4	1000		135	1000		154	1000		138
5	1250		188	1250		206	1250		140
6	1500		280	1500		295	1500		210
7	1750		330	1750		385	1750		287
8	2000		340	2000		441	2000		382
9	2250		410	2250		520	2250		433
10	2500		488	2500		590	2500		505
11	2750		585	2750		655	2750		592
12	3000		615	3000		719	3000		680
13	3250		700	3250		790	3250		710
14	3500		755	3500		840	3500		
15	3750			3750		913	3750		3100
16	3850		3200	3900		2900			

Keterangan : δ = defleksi (x 10⁻² mm)

W = Berat sampel balok beton.

Dari hasil pengujian lentur ketiga sampel *Underreinforced* dan pengujian kuat desak beton didapatkan $f'_c = 25,084$ MPa. Kemudian dilakukan perhitungan kapasitas kemampuan beton (tanpa tulangan geser) untuk menahan geser dan kapasitas momen yang dapat didukung oleh balok sebagai berikut ini.

1. Sampel U_1

Kekuatan geser nominal yang diberikan beton adalah :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{25,084} \cdot 100 \cdot 175 \cdot 10^{-3} = 14,6078 \text{ KN}$$

Gaya geser karena beban luar adalah

$P_u = 3500 \text{ kg}$ (linier pada beban maksimum)

$$V_u = \frac{1}{2} P_u = \frac{3500}{2} = 1750 \text{ Kg} = 17,5 \text{ KN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d = 17,5$ cm dari muka perletakan balok (setengah bentang = 100 cm).

V_u pada d adalah :

$$\frac{100 - 17,5}{100} \cdot 17,5 = 14,4375 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 0,6 \cdot 14,6078 = 8,7647 \text{ KN} \leq V_u = 14,4375 \text{ KN}$$

Kapasitas momen adalah :

$$W = 119,5 \text{ kg} = 1,195 \text{ KN}$$

$$q = \frac{1,195}{2} = 0,5975 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$P_u = 3500 \text{ kg} = 35 \text{ KN}$$

$$Mu = \frac{Pu}{2} \cdot 0,67 + \frac{q}{8} \cdot 2^2 = \frac{35}{2} \cdot 0,67 + \frac{0,5975}{8} \cdot 2^2 = 12,0238KNM$$

$$Mu \geq \phi \cdot Mn = 10,0986KNM$$

2. Sampel U₂

Kekuatan geser nominal yang diberikan beton adalah :

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{25,084} \cdot 100 \cdot 175 \cdot 10^{-3} = 14,6078KN$$

Gaya geser karena beban luar adalah :

$$Pu = 3750kg \text{ (linier pada beban maksimum)}$$

$$Vu = \frac{1}{2} \cdot 3750 = 1875Kg = 18,75KN$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d=17,5$ cm dari muka perletakan balok (setengah bentang = 100 cm).

Vu pada d adalah :

$$\frac{100 - 17,5}{100} \cdot 18,75 = 15,4688KN$$

$$\phi Vc = 0,6 \cdot 14,6078 = 8,7647KN \leq Vu = 15,4688KN$$

Kapasitas momen adalah

$$W = 120kg = 1,2KN \quad q = \frac{1,2}{2} = 0,6 \frac{KN}{m} \quad Pu = 3750kg = 37,5KN$$

$$Mu = \frac{Pu}{2} \cdot 0,67 + \frac{q}{8} \cdot 2^2 = \frac{37,5}{2} \cdot 0,67 + \frac{0,6}{8} \cdot 2^2 = 12,8625KNm$$

$$Mu \geq \phi \cdot Mn = 10,0986KNM$$

3. Sampel U₃

Kekuatan geser nominal yang diberikan beton adalah :

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{25,084} \cdot 100 \cdot 175 \cdot 10^{-3} = 14,6078KN$$

Gaya geser karena beban luar adalah :

$$P_u = 3250 \text{ kg (linier pada beban maksimum)}$$

$$V_u = \frac{3250}{2} = 1625 \text{ Kg} = 16,25 \text{ KN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d = 17,5$ cm dari muka perletakan balok (setengah bentang = 100 cm).

V_u pada d adalah :

$$\frac{100 - 17,5}{100} \cdot 16,25 = 13,4063 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 8,7647 \text{ KN} \leq V_u = 13,4063 \text{ KN}$$

Kapasitas momen adalah :

$$W = 119 \text{ kg} = 1,19 \text{ KN}$$

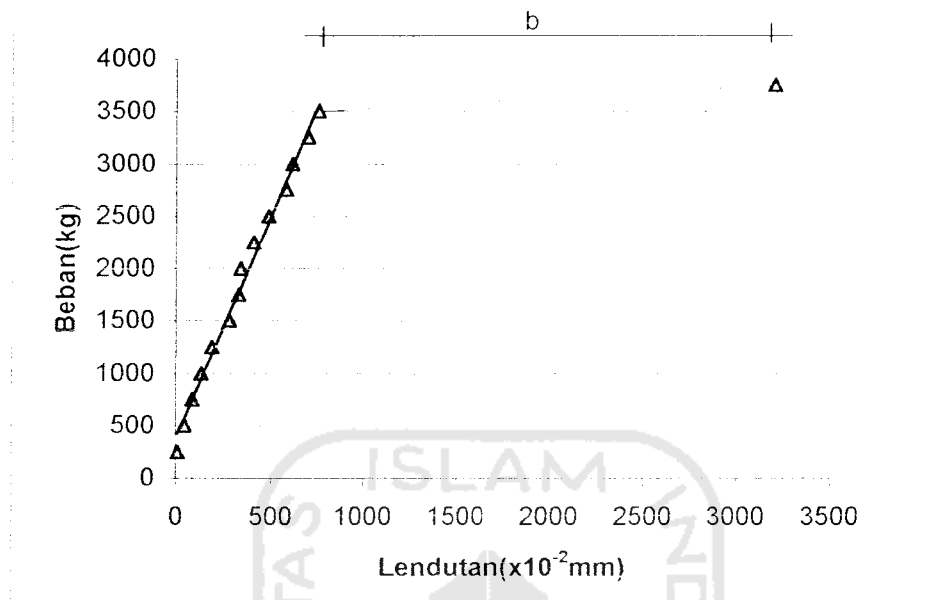
$$q = \frac{1,19}{2} = 0,595 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$P_u = 3250 \text{ kg} = 32,5 \text{ KN}$$

$$M_u = \frac{P_u}{2} \cdot 0,67 + \frac{q}{8} \cdot 2^2 = \frac{32,5}{2} \cdot 0,67 + \frac{0,595}{8} \cdot 2^2 = 11,185 \text{ KNm}$$

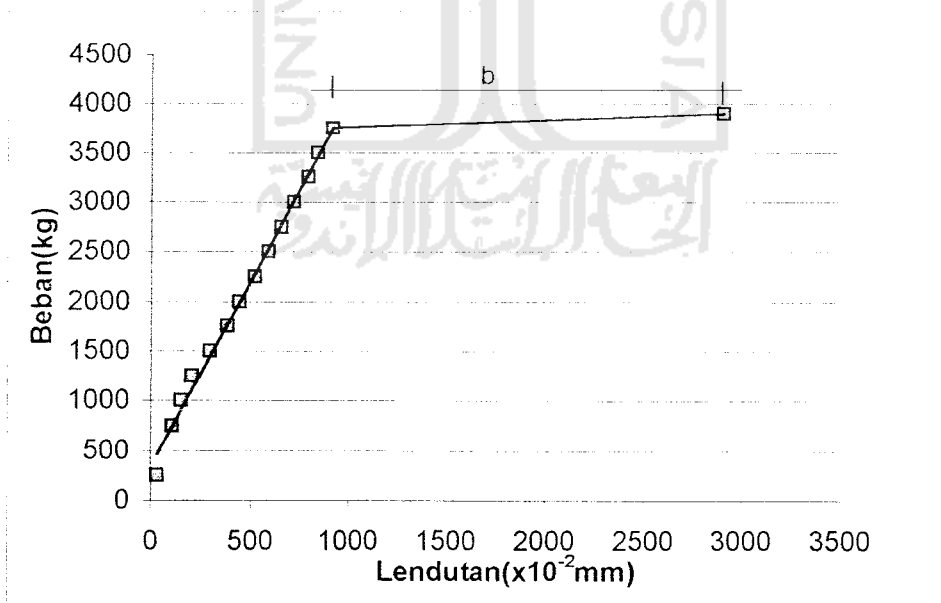
$$M_u \geq \phi M_n = 10,0986 \text{ KNm}$$

Dari ketiga sampel untuk *underreinforced*, kemudian dibuat grafik hubungan kenaikan beban dengan lendutan (gambar 5.1, 5.2, 5.3, 5.4,) dan sket pola retak dan patah dari hasil pengujian lentur (gambar 5.5, 5.6, 5.7).



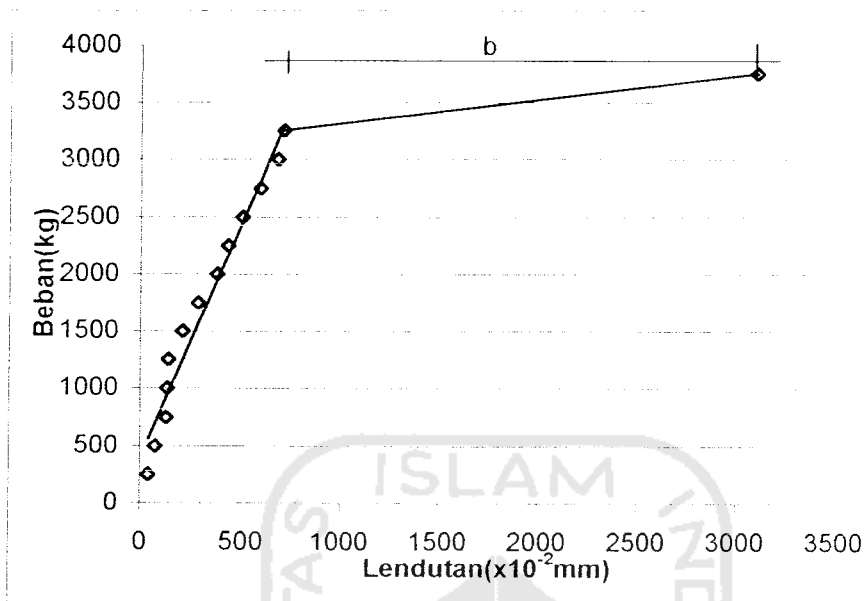
Ket : b= Tidak terdeteksi, Dial yang digunakan max 1 cm

Gambar 5.1 Grafik Hubungan Beban-Lendutan sampel *Underreinforced-1*



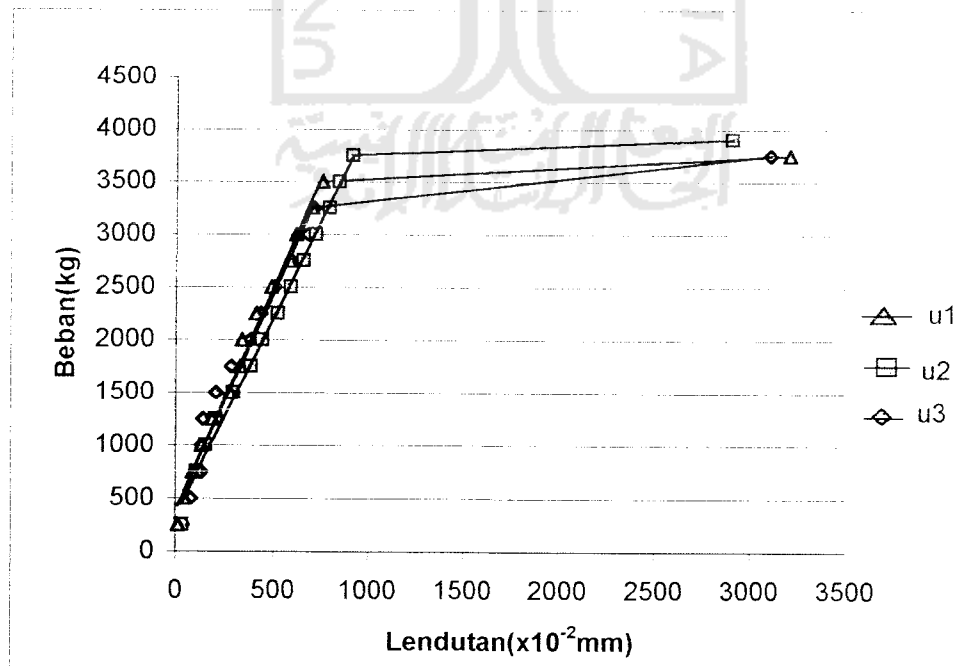
Ket : b= Tidak terdeteksi, Dial yang digunakan max 1 cm

Gambar 5.2 Grafik Hubungan Beban-Lendutan sampel *Underreinforced-2*

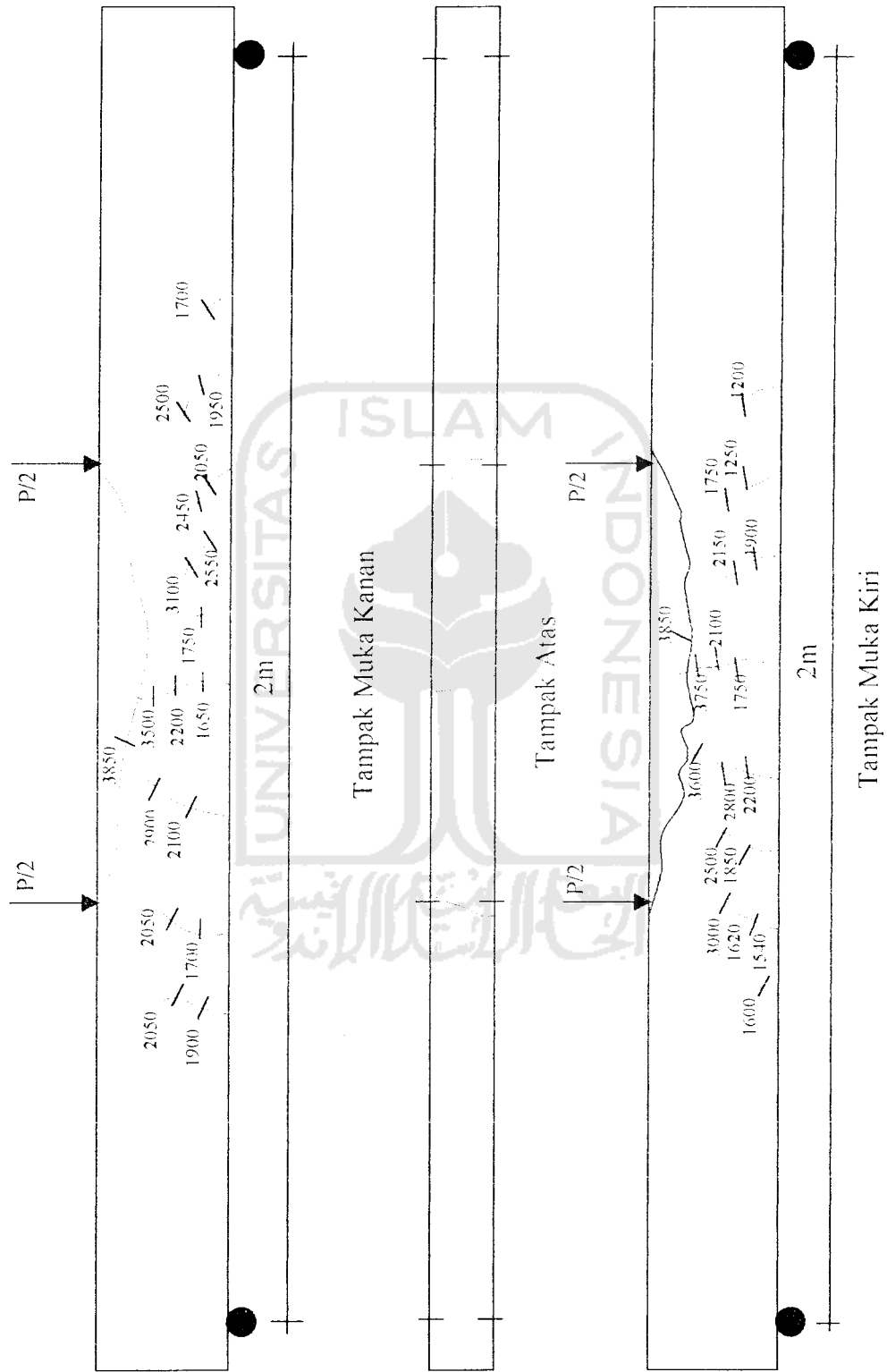


Ket : b= Tidak terdeteksi, Dial yang digunakan max 1 cm

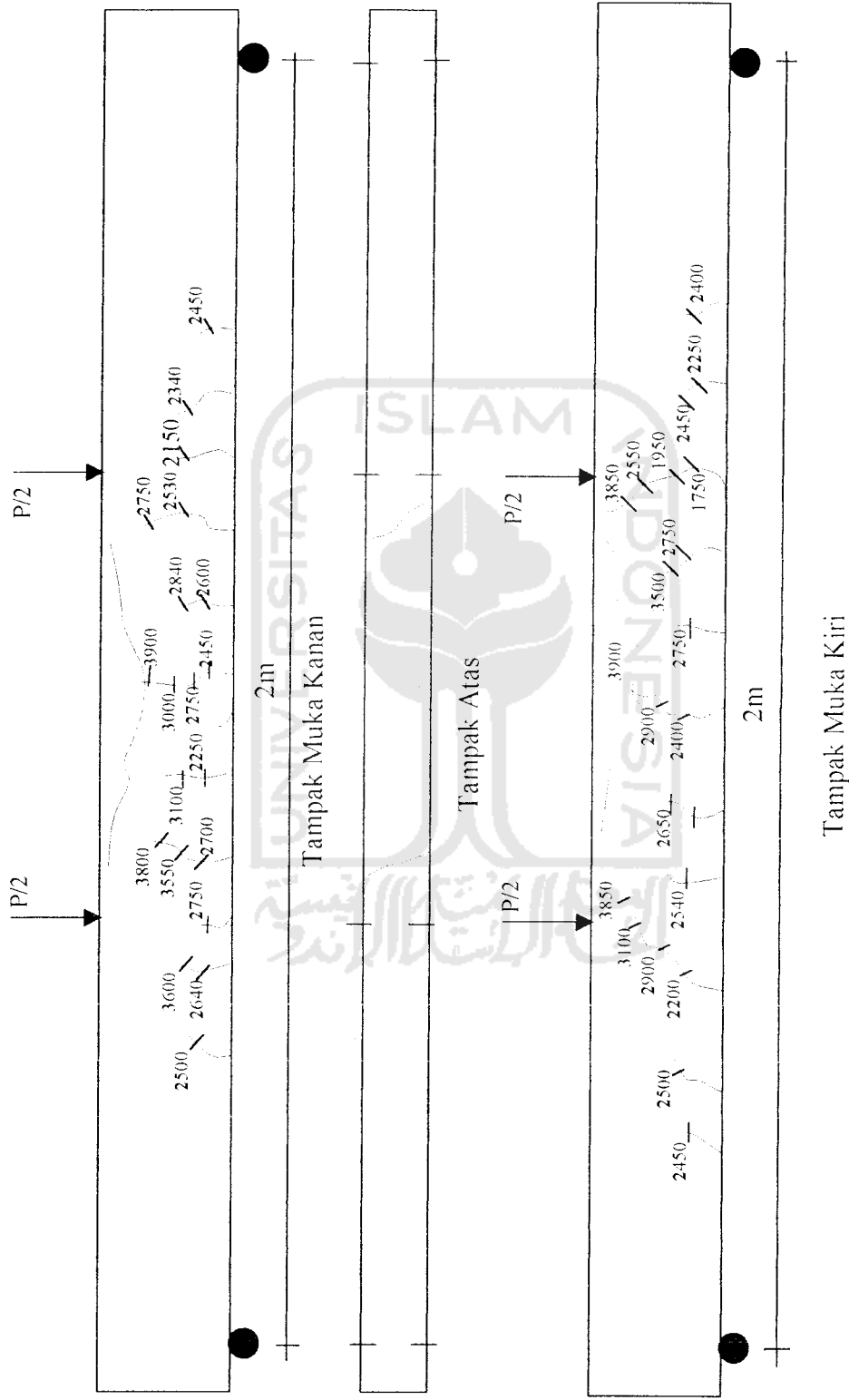
Gambar 5.3 Grafik Hubungan Beban-Lendutan sampel Underreinforced-3



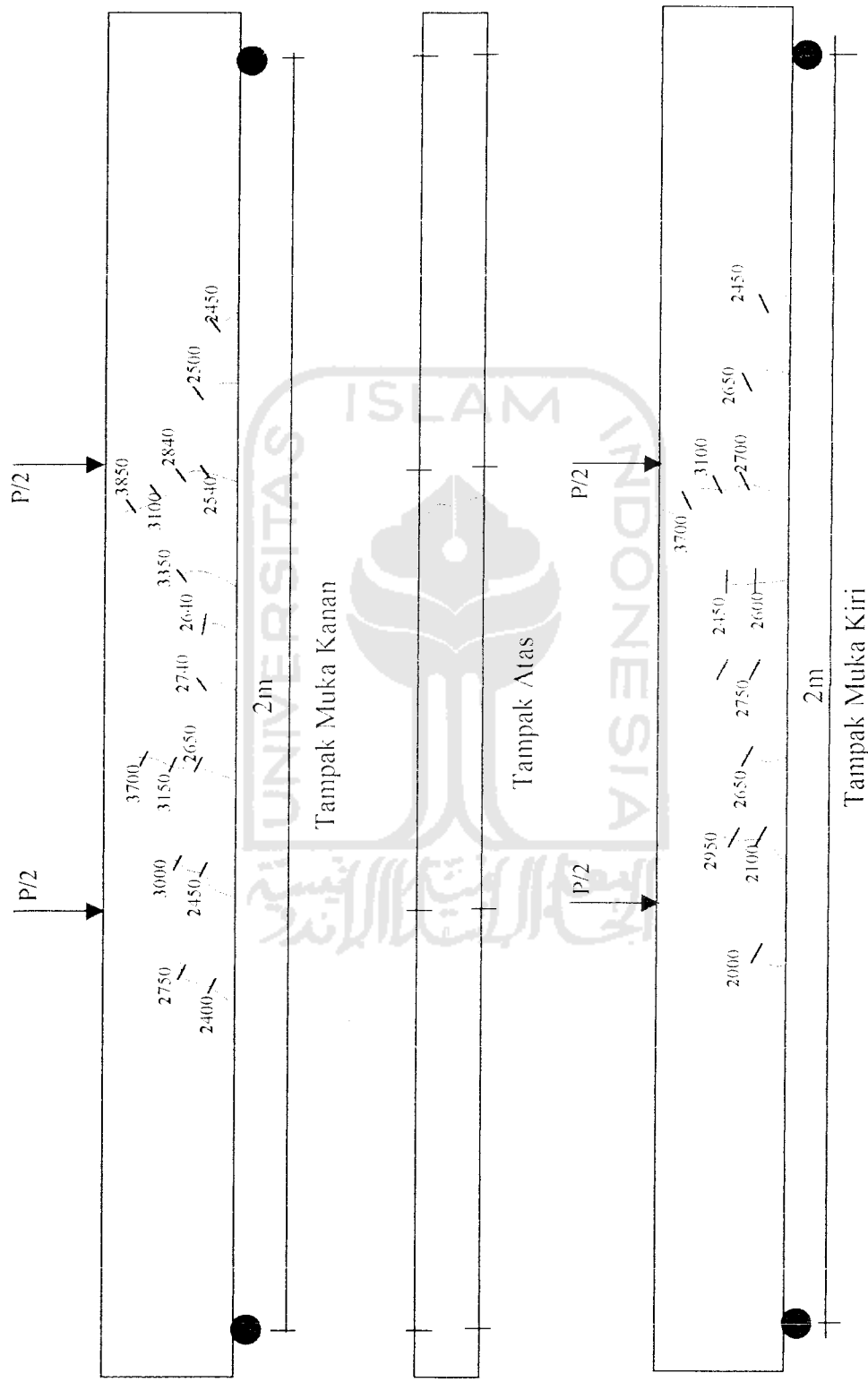
Gambar 5.4 Gabungan Grafik Hubungan Beban-Lendutan sampel Underreinforced



Gambar 5.5 Sket Pola Retak Hasil Pengujian Kuat Lentur Sampel "U1" Pada Kondisi Akhir



Gambar 5.6 Sket Pola Retak Hasil Pengujian Kuat Lentur Sampel "U2" Pada Kondisi Akhir



Gambar 5.7 Sket Pola Retak Hasil Pengujian Kuat Lentur Sampel "U3" Pada Kondisi Akhir

2. Hasil pengujian lentur sampel *Overreinforced* ("O").Tabel 5.2 Data Hasil Pengujian Lentur Sampel *Overreinforced*.

No	SAMPEL O-1			SAMPEL O-2			SAMPEL O-3		
	<i>P</i> (kg)	<i>W</i> (kg)	δ 10^{-2} mm	<i>P</i> (kg)	<i>W</i> (kg)	δ 10^{-2} mm	<i>P</i> (kg)	<i>W</i> (kg)	δ 10^{-2} mm
1	250	124	33	250	125.5	31	250	126	40
2	500		61	500		62	500		77
3	750		92	750		104	750		117
4	1000		130	1000		143	1000		208
5	1250		167	1250		188	1250		270
6	1500		210	1500		250	1500		320
7	1750		250	1750		297	1750		372
8	2000		302	2000		338	2000		420
9	2250		343	2250		398	2250		469
10	2500		390	2500		445	2500		523
11	2750		430	2750		490	2750		542
12	3000		475	3000		545	3000		605
13	3250		563	3250		604	3250		654
14	3500		614	3500		680	3500		698
15	3750		658	3750		730	3750		750
16	4000		704	4000		792	4000		805
17	4250		719	4250		862	4250		853
18	4500		761	4500		908	4500		902
19	4750		850	4750		983	4750		958
20	5000		912	5000			5000		
21	5250			5250			5250		
22	5500			5500			5500		
23	5750			5650		1300	5750		
24	6000						5800		1200
25	6150		1200						

Keterangan : δ = defleksi ($\times 10^{-2}$ mm)*W* = Berat sampel balok beton.

Dari hasil pengujian lentur ketiga sampel *Overreinforced* dan pengujian kuat desak beton didapatkan f'_c sebesar 25,084 MPa. Kemudian dilakukan perhitungan kapasitas kemampuan beton (tanpa penulangan geser) untuk menahan geser dan kapasitas momen yang dapat didukung oleh balok sebagai berikut ini.

1. sampel O₁

Kekuatan geser nominal yang diberikan beton adalah:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{25,084} \cdot 100 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 12,521 \text{ KN}$$

Gaya geser karena beban luar adalah :

$P_u = 6150 \text{ kg}$ (beban pada saat patah)

$$V_u = \frac{P_u}{2} = \frac{6150}{2} = 3075 \text{ Kg} = 30,75 \text{ KN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak 15 cm dari muka perletakan balok (setengah bentang = 100 cm).

V_u pada d adalah :

$$\frac{100 - 15}{100} \cdot 30,75 = 26,1375 \text{ KN}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,6 \cdot 12,521 = 7,5126 \text{ KN} \leq V_u = 26,1375 \text{ KN}$$

Kapasitas momen adalah :

$$W = 124 \text{ kg} = 1,24 \text{ KN}$$

$$q = \frac{1,24}{2} = 0,62 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$P_u = 6150 \text{ kg} = 61,5 \text{ KN}$$



$$Mu = \frac{Pu}{2} \cdot 0,67 + \frac{q}{8} \cdot 2^2 = \frac{61,5}{2} \cdot 0,67 + \frac{0,62}{2} \cdot 2^2 = 20,9125 \text{KNm}$$

$$Mu \geq \phi \cdot Mn = 0,8 \cdot 22,2853 = 17,8283 \text{KNM}$$

2. Sampel O₂

Kekuatan geser yang diberikan beton adalah :

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{25,084} \cdot 100 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 12,521 \text{KN}$$

Gaya geser karena beban luar adalah :

$Pu = 5650 \text{kg}$ (beban pada saat patah)

$$Vu = \frac{Pu}{2} = \frac{5650}{2} = 2825 \text{Kg} = 28,25 \text{KN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d = 15 \text{ cm}$ dari muka perletakan (setengah bentang = 100 cm).

Vu pada d adalah :

$$\frac{100 - 15}{100} \cdot 28,25 = 24,0125 \text{KN}$$

$$\phi Vc = 0,6 \cdot 12,521 = 7,5126 \text{KN} \leq Vu = 24,0125 \text{KN}$$

Kapasitas momen adalah:

$$W = 125,5 \text{kg} = 1,255 \text{KN}$$

$$q = \frac{1,255}{2} = 0,6275 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$Pu = 5650 \text{kg} = 56,5 \text{KN}$$

$$Mu = \frac{Pu}{2} \cdot 0,67 + \frac{q}{8} \cdot 2^2 = \frac{56,5}{2} \cdot 0,67 + \frac{0,6275}{8} \cdot 2^2 = 19,24125 \text{KNm}$$

$$Mu \geq \phi \cdot Mn = 0,8 \cdot 22,2853 = 17,8283 \text{KNm}$$

3. Sampel O₃

Kekuatan geser nominal yang diberikan beton adalah :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{25,084} \cdot 100 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 12,521 \text{KN}$$

Gaya geser karena beban luar adalah :

$P_u = 5800 \text{kg}$ (beban pada saat patah)

$$V_u = \frac{P_u}{2} = \frac{5800}{2} = 2900 \text{Kg} = 29 \text{KN}$$

Penampang kritis pertama adalah pada jarak $d = 15 \text{ cm}$ dari muka perletakan (setengah bentang = 100 cm).

V_u pada d adalah :

$$\frac{100 - 15}{100} \cdot 29 = 24,65 \text{KN}$$

$$\phi V_c = 0,6 \cdot 12,521 = 7,5126 \text{KN} \leq V_u = 24,65 \text{KN}$$

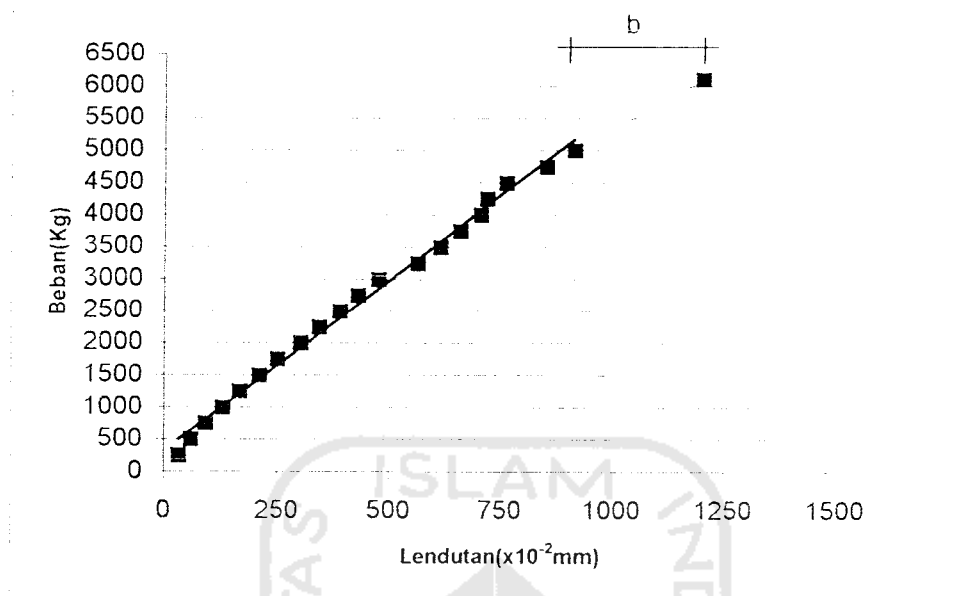
Kapasitas momen adalah:

$$W = 126 \text{kg} = 1,26 \text{KN} \quad q = \frac{1,26}{2} = 0,63 \frac{\text{KN}}{\text{m}} \quad P_u = 5800 \text{kg} = 58 \text{KN}$$

$$M_u = \frac{P_u}{2} \cdot 0,67 + \frac{q}{8} \cdot 2^2 = \frac{58}{2} \cdot 0,67 + \frac{0,63}{8} \cdot 2^2 = 19,745 \text{KNm}$$

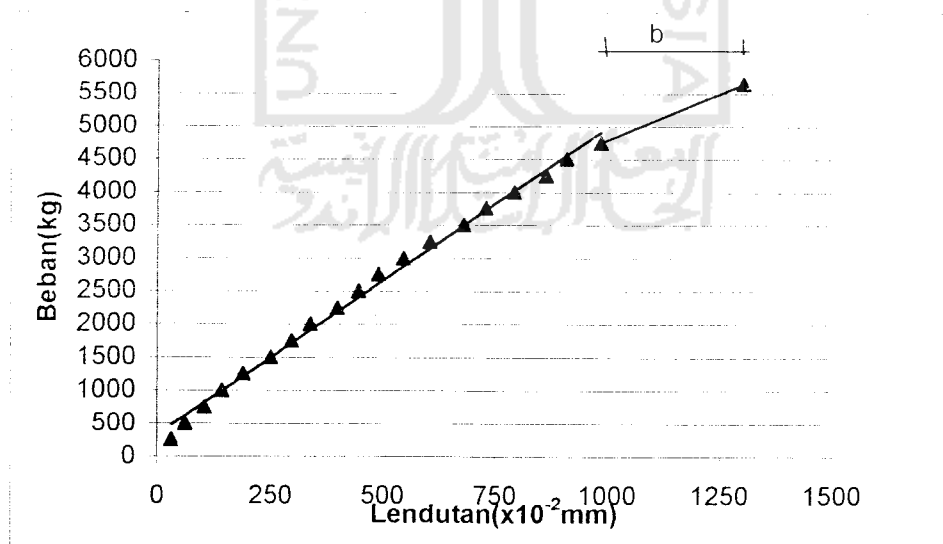
$$M_u \geq \phi M_n = 17,8283 \text{KNm}$$

Dari ketiga sampel kemudian dibuat grafik hubungan kenaikan beban dengan lendutan (gambar 5.8, 5.9, 5.10, 5.11) dan sket pola retak dan patah (gambar 5.12, 5.13, 5.14)



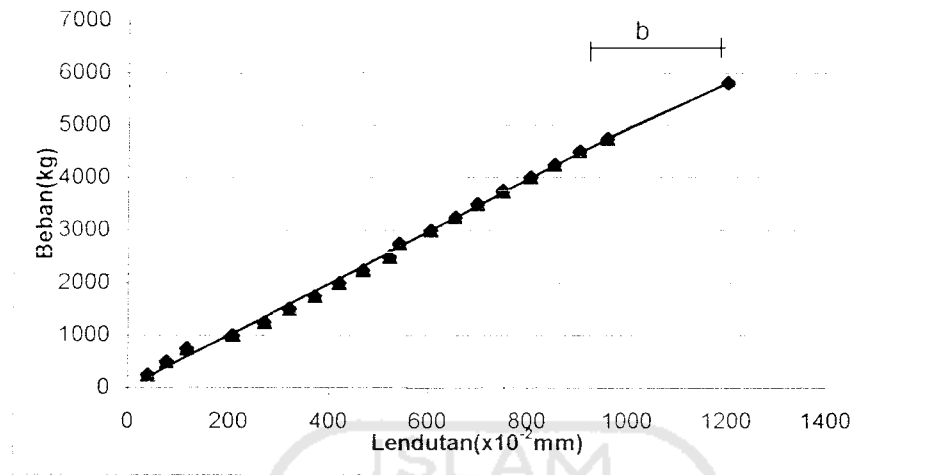
Ket : b= Tidak terdeteksi, Dial yang digunakan max 1 cm

Gambar 5,8 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Sampel Overreinforced-1



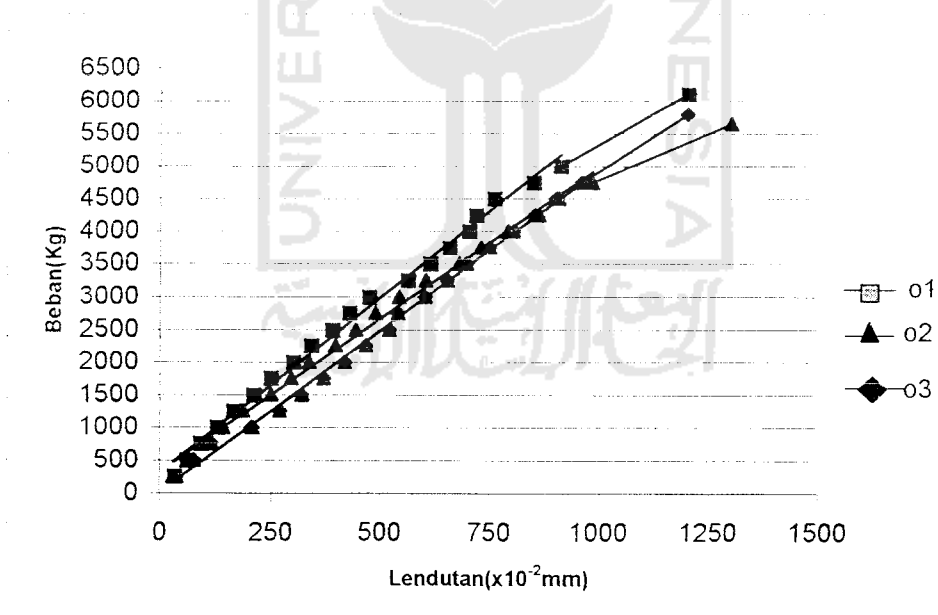
Ket : b= Tidak terdeteksi, Dial yang digunakan max 1 cm

Gambar 5,9 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Sampel Overreinforced-2

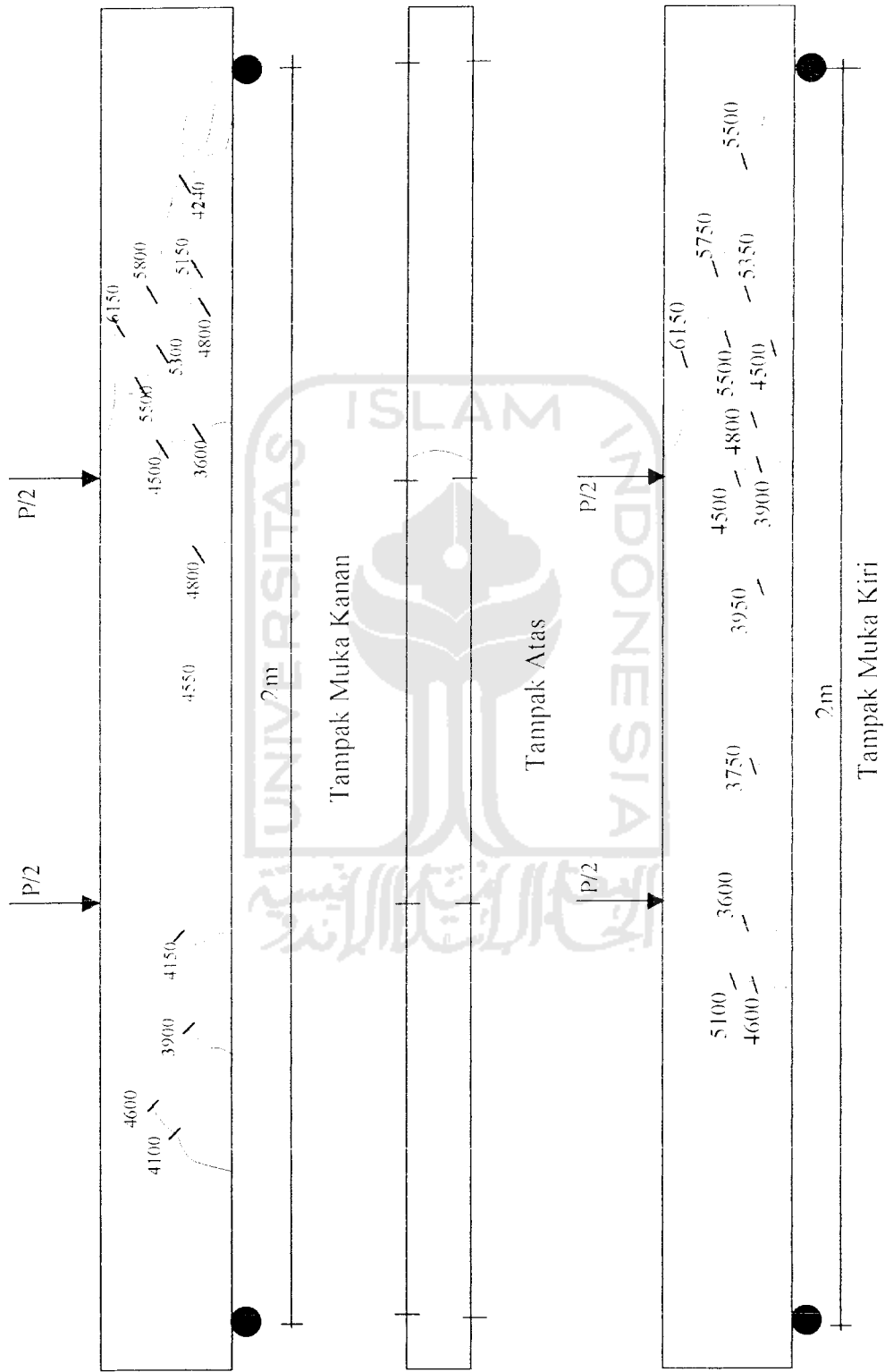


Ket : b= Tidak terdeteksi, Dial yang digunakan max 1 cm

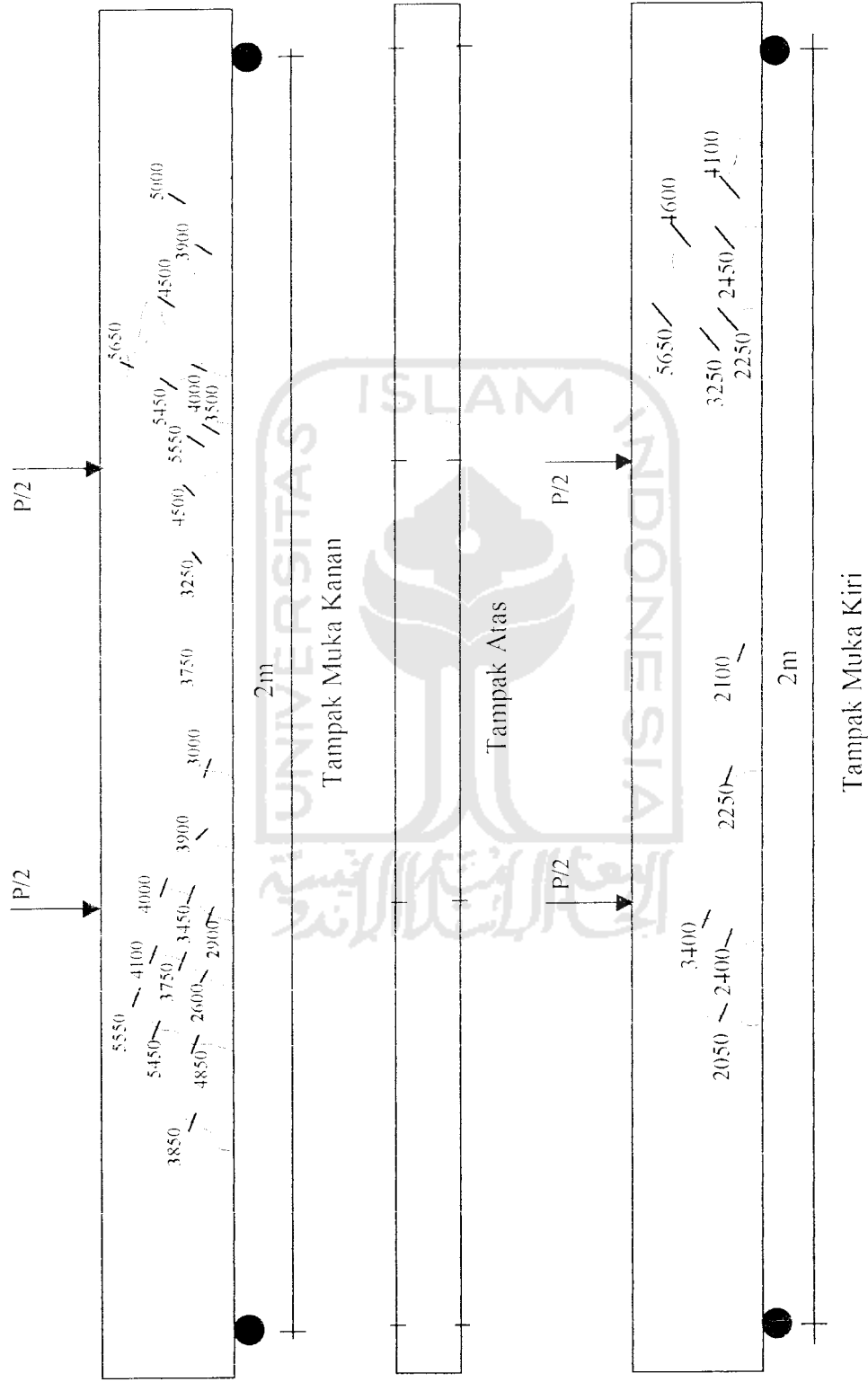
Gambar 5,10 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Sampel Overreinforced-3



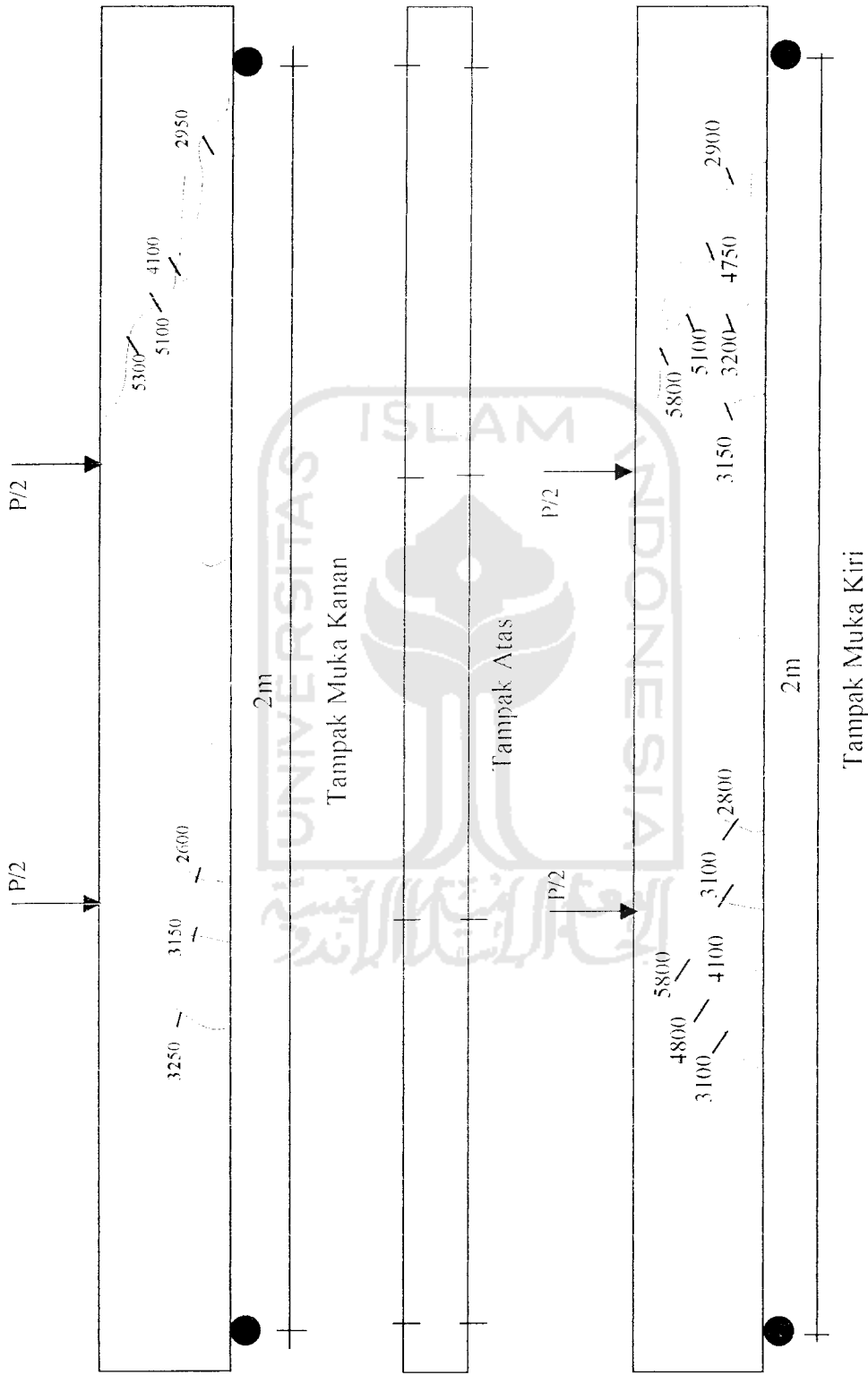
Gambar 5.11 Gabungan Grafik Hubungan Beban-Lendutan sampel Overreinforced



Gambar 5.12 Sket Pola Retak Hasil Pengujian Kuat Lentur Sampel "O1" Pada Kondisi Akhir



Gambar 5.13 Sket Pola Retak Hasil Pengujian Kuat Lentur Sampel "O2" Pada Kondisi Akhir



Gambar 5.14 Sket Pola Retak Hasil Pengujian Kuat Lentur Sampel "O3" Pada Kondisi Akhir

3. Hasil pengujian lentur sampel tanpa tulangan (“P”).

Tabel 5.3 Pengujian Lentur tanpa Tulangan

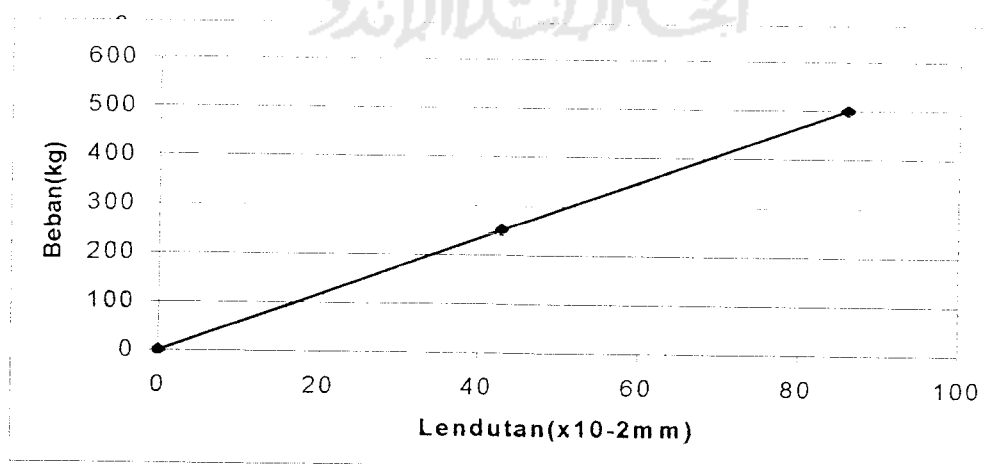
No.	P (kg)	W (kg)	δ (10^{-2} mm)
1	250	116	43
2	500		85
3	625		-

$$P_{\max} = 625 \text{ kg} = 6,25 \text{ kN}$$

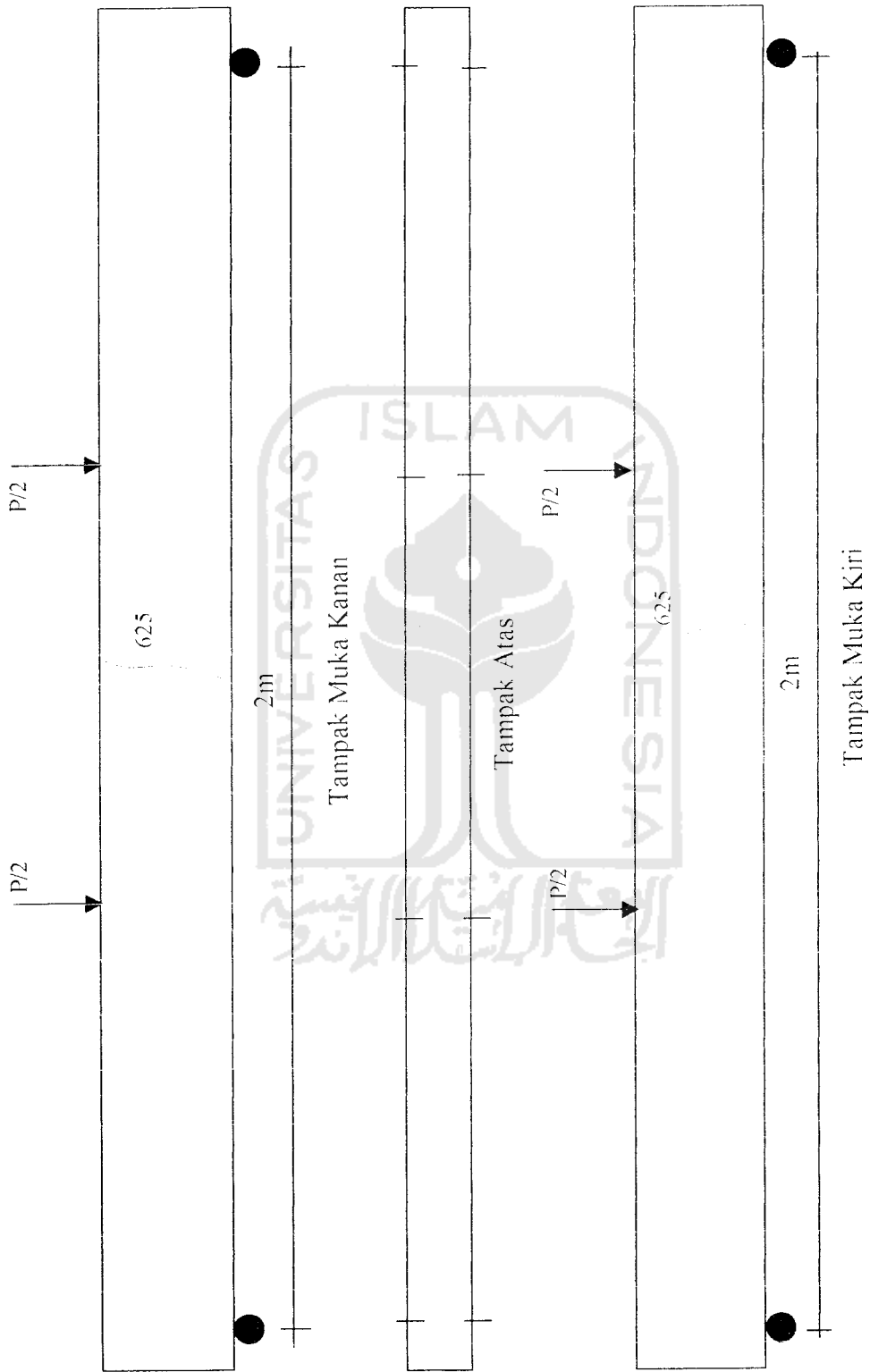
$$W = 116 \text{ kg} = 1,16 \text{ kN} \text{ (berat benda uji)}, \quad q = 1,16/2 = 0,58 \text{ kN/m}$$

$$Mu = \frac{1}{8} \cdot 0,58 \cdot 2^2 + \frac{1}{2} \cdot 6,25 \cdot 0,67 = 2,4675 \text{ kNm}$$

Untuk lebih memperjelas kemampuan balok dalam mendukung beban pada sampel dapat dilihat pada grafik hubungan kenaikan beban dengan lendutan dan sket pola retak dan patah (gambar 5.15, 5.16).



Gambar 5.15 Grafik Hubungan Beban – Lendutan Sampel Tanpa Tulangan (“p”)



Gambar 5.16 Sket Pola Retak Hasil Pengujian Kuat Lentur Sampel “P” pada Kondisi Akhir

Didalam penelitian ini setiap kali mengadakan campuran beton selalu dibuat 2 benda uji silinder untuk mengetahui kuat desak beton yang dipakai. Hasil penelitian adalah seperti pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil pengujian kuat desak beton umur 28 hari

No. Samnel	Slumn	<i>P</i> max kg
1	9,5	49500
2	9	46000
3	9	48500
4	10	48700
5	12	47700
6	10,5	49800
7	9	49000
8	9,5	51700
9	11	47300
10	10,5	41200

Dari hasil pengujian desak beton, selanjunya dilakukan perhitungan kekuatan tekan benda uji silinder sebagai berikut ini.

$$f'_{cr} = \sum_{i=1}^{n-10} f'_{b} = \frac{2712,8492}{10} = 271,2849 \frac{kg}{cm^2}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (f'_{b} - f'_{cr})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{2296,139}{9}} = 15,9727 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f'_{c} = f'_{cr} - 1,28.S = 271,2849 - 1,38.15,9727 = 250,84 \frac{kg}{cm^2} = 25,084MPa$$

$$f'_{c} \geq f'_{c.rencana} = 17,5MPa$$

Keterangan :

f'_b = Kekuatan tekan beton yang diperoleh dari masing-masing benda uji (kg/cm^2)

f'_{cr} = Kekuatan tekan beton rata-rata (kg/cm^2)

f'_c = Kekuatan tekan benda uji silinder (kg/cm^2)

S = Deviasi standart (kg/cm^2)

N = Jumlah benda uji

5.2 Pembahasan

Pada dasarnya sifat beton yang getas (*brittle*) akan berkurang dengan adanya tulangan, sifat beton yang kurang menguntungkan tersebut berkurang dan sifat kelenturan beton akan meningkat.

Dari hasil pengujian ini, ternyata benda uji tanpa tulangan langsung mengalami patah pada beban maksimum, serta benda uji dengan tulangan akan mengalami retak-retak terlebih dahulu sebelum akhirnya patah pada beban maksimum.

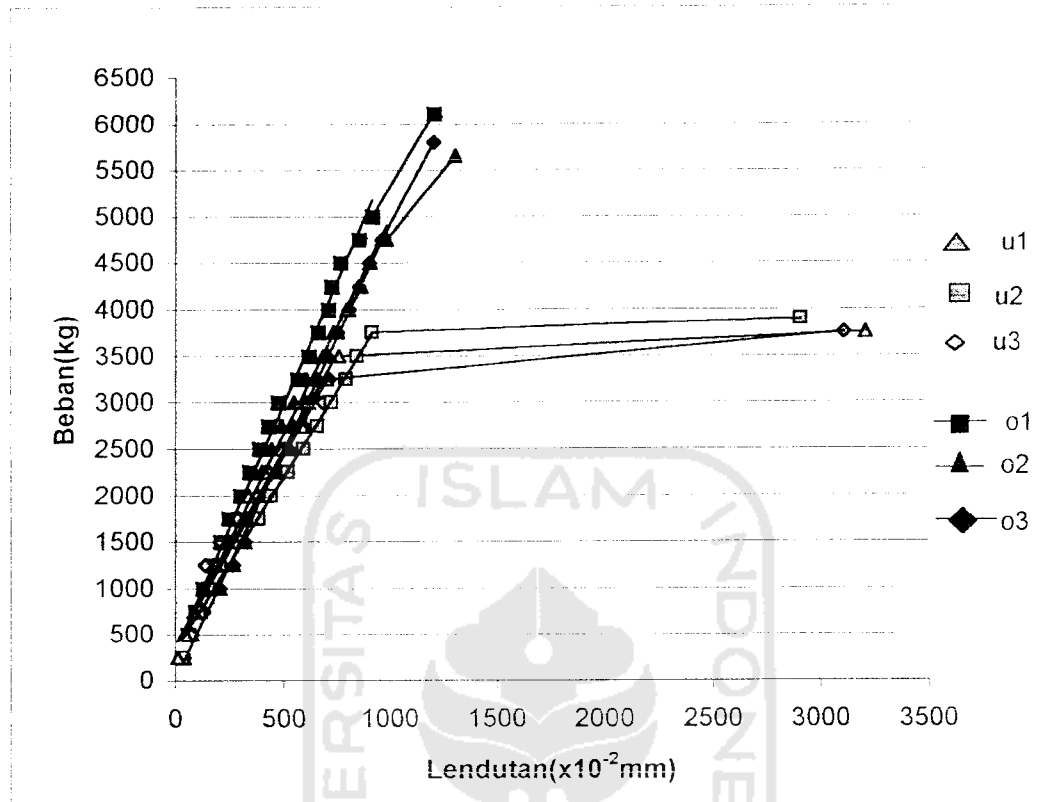
Retak-retak yang terjadi pada benda uji bertulangan akan ditahan oleh tulangan tersebut. Retak yang ditahan oleh tulangan pada beton yaitu kemampuan lekatan antara tulangan dengan pasta semen serta kekuatan dari tulangan itu sendiri.

Nilai slump yang ditetapkan dalam penelitian ini, yaitu antara 7,5 – 15 cm pada masing-masing benda uji, dengan maksud agar mutu beton sesuai dengan rencana. Sebagai mana diketahui, dalam pelaksanaan dilapangan untuk membuat campuran beton dilaksanakan berkali-kali karena kemampuan mengaduk dari mesin pengaduk (molen) terbatas, kecuali apabila ada mesin pengaduk yang lebih besar.

Pembuatan beton yang dilakukan berulang-ulang akan membuat mutu beton yang berbeda-beda, sehingga didapatkan hasil uji yang berlainan juga.

Mengacu pada data tabel dan pola retak yang terjadi, dapat dibuat grafik perbandingan kenaikan beban dan lendutan dengan membandingkan sampel “U” untuk benda uji dengan tulangan *Underreinforced*, sampel “O” untuk benda uji bertulangan *Overreinforced*, dan sampel “P” untuk benda uji tanpa tulangan, seperti terlihat pada gambar 5.17.





Ket : b= Tidak terdeteksi, Dial yang digunakan max 1 cm

u1=Underreinforced-1

u2=Underreinforced-2

u3=Underreinforced-3

o1=Overreinforced-1

o2=Overreinforced-2

o3=Overreinforced-3

Gambar 5.17 Gabungan Grafik Hubungan Beban-Lendutan sampel Overreinforced dan Underreinforced

Dengan melihat grafik diatas, ternyata balok dengan tulangan lebih, yaitu sampel "O" (*Overreinforced*) mempunyai kekuatan yang paling besar dalam menahan beban, namun ditinjau dari segi retaknya, sampel dengan tulangan *Overreinforced* pola retak dan patah yang terjadi ada diluar daerah sepertiga tengah bentang, sedangkan pada sampel dengan tulangan *Underreinforced*, pola retak dan patah terjadi di sepertiga bentang tengah, ini berarti telah sesuai dengan perencanaan yang diharapkan sebelum penelitian ini dilakukan. Sedangkan pada sampel tanpa tulangan, pola retak dan patah terjadi didaerah tengah bentang dengan kekuatan paling rendah dalam menahan beban.

Dengan demikian pada penulangan liat (*Underreinforced*), ditinjau dari segi keamanannya pada penelitian-penelitian ini, memperlihatkan lenturan-lenturan yang sangat besar setelah baja mencapai titik leleh, dengan memberikan peringatan yang tepat akan gagalnya balok dalam waktu dekat. Ditunjukkan dengan kecepatan perambatan dan tinggi retak lentur yang terjadi. Baja yang sifatnya liat, tidak akan betul-betul putus bahkan pada saat balok gagal.

5.2.1 Kuat Desak Beton

Kuat desak beton dipengaruhi oleh komposisi dan kekuatan masing-masing bahan susun dan lekatan pasta semen pada agregat. Kuat desak beton secara umum cukup besar dan sifat inilah yang paling menonjol pada beton.

Pada pelaksanaan pengujian kuat desak beton terlihat, bahwa beton hancur dengan beban maksimum yaitu benda uji akan pecah dan pecahan beton akan saling terlepas (lihat Tabel 5.4).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ternyata kuat desak beton bervariasi tetapi tidak dibawah mutu beton yang direncanakan.

5.2.2 Kuat Lentur Beton dengan dan Tanpa Tulangan

Kuat lentur beton diketahui dengan melakukan pengujian benda uji yang diletakan pada dua sendi rol dan diberikan dua buah gaya pada sisi atas benda uji tersebut.

Dari hasil pengujian lentur, diperoleh beban maksimum pada masing-masing sampel, sehingga dapat dihitung kapasitas momen dari masing-masing benda uji seperti tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5.5. Kapasitas momen dari masing-masing benda uji

Benda uji	q(KN/m)	Pu(KN)	Mu=0,5q+0,335.Pu(KNm)
U1	0,5975	35	12,0238
U2	0,6	37,5	12,8625
U3	0,595	32,5	11,185
O1	0,62	61,5	20,9125
O2	0,6275	56,5	19,2413
O3	0,63	58	19,745
P	0,58	6,25	2,3838

Keterangan :

q = berat benda uji (KN/m)

Pu =beban yang didapat dari pengujian (KN)

Mu = kapasitas momen yang terjadi (KNm)

Dengan membandingkan antara hasil pengujian dengan hitungan yang telah direncanakan maka dapat ditentukan apakah penulangan itu memenuhi persyaratan atau tidak. Seperti terlihat pada tabel 5.6 dibawah ini perbandingan kapasitas tampang perencanaan dengan kapasitas tampang hasil pengujian yang diperoleh .

Tabel 5.6 Perbandingan kapasitas tampang hasil pengujian lentur dengan perencanaan

Benda uji	Vu Pengujian (KN)	Vu Rencana (KN)	Mu Pengujian (KNm)	Mu Rencana (KNm)
U1	17,5	13,9118	12,0238	9,6089
U2	18,75		12,8625	
U3	16,25		11,185	
O1	30,75	19,5358	20,9125	13,377
O2	28,25		19,2413	
O3	29		19,745	

Dari tabel 5.6 dapat dilihat bahwa kapasitas tampang benda uji *overreinforced* dan *underreinforced* mempunyai kekuatan di atas kapasitas tampang perencanaan. Sedangkan gaya geser (V_u) menunjukkan penampang *overreinforced* mempunyai gaya geser lebih besar, dibandingkan dengan penampang *underreinforced*. Terhadap keamanan penampang *underreinforced* lebih menguntungkan karena patah yang terjadi bukan patah geser.

Pada pengujian terlihat, bahwa beton bertulangan yang telah mengalami retak pertama, masih mempunyai kemampuan meningkatkan kuat lentur. Karena retakan yang terjadi ditahan oleh tulangan pada beton tersebut. Akibatnya pada batas kemampuan yang maksimum, untuk sampel dengan penulangan liat, beton tersebut tidak akan mengalami keruntuhan secara total. Sedang pada beton tanpa tulangan, pada pengujian lentur begitu terjadi retakan pertama langsung terjadi keruntuhan atau patah.

Retak miring akibat geser dibadan balok beton bertulang dapat terjadi tanpa disertai retak akibat lentur disekitarnya, atau dapat juga sebagai kelanjutan proses retak lentur yang telah mendahuluinya.

Proses terjadinya retak lentur umumnya cenderung merambat dimulai dari tepi bawah balok menjalar masuk kedalam badan balok diantara dua pembebanan yang terjadi dengan arah hampir vertikal. Proses tersebut terus berlanjut tanpa mengakibatkan berkurangnya tegangan sampai tercapainya suatu kombinasi kritis tegangan lentur dan geser diujung salah satu retak terdalam, terjadi tegangan geser cukup besar yang kemudian mengakibatkan terjadinya retak miring. Pada balok beton bertulang, tulangan baja akan bertugas sepenuhnya menahan gaya tarik yang timbul akibat lenturan. Apabila beban yang bekerja terus meningkat, tegangan tarik dan geser juga akan meningkat seiring dengan beban.

Untuk balok tanpa tulangan, retak karena tegangan tarik lentur akan terjadi terlebih dahulu sebelum timbul retak karena tarik diagonal. Dengan demikian terjadinya retak tarik lenturan pada balok tanpa tulangan merupakan peringatan awal kerusakan geser.

5.2.3 Perilaku Lentur Penampang Dengan Penulangan Lemah dan Kuat

Dari hasil penelitian seperti ditunjukkan dalam pada tabel 5.1 dan 5.2 dari sejumlah benda uji sampel *underreinforced* dan *Overreinforced* memperlihatkan adanya perbedaan kemampuan dalam menahan beban. Kemudian pada pola retak dan patah yang terjadi memperlihatkan suatu ragam keruntuhan.

Pada sampel yang menggunakan penulangan memanjang balok *underreinforced* terjadi keruntuhan lentur, seperti retak halus vertikal sudah mulai terbentuk di tengah bentang pada beban kira-kira 50% dari beban keruntuhan lentur. Dengan meningkatnya beban luar, retak mulai menyebar di daerah tengah

bentang, dan retak awal mulai melebar dan merambat ke arah garis netral serta ditandai dengan meningkatnya lendutan (gambar 5.4). Hal ini sesuai dengan persyaratan pada SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.3 dan *ACI Building CODE* pasal 10.3.3 yang membatasi jumlah tulangan tarik sehingga menjamin pola kehancuran yang daktail atau liat. Pada penulangan lemah yang demikian pola kehancuran diawali oleh lelehnya tulangan lentur sehingga akan memberikan peringatan yang cukup sebelum balok runtuh.

Untuk benda uji dengan penulangan kuat, pola retak dan patah menunjukkan jenis keruntuhan tarik diagonal (lihat Gambar 5.12, 5.13, 5.14) yang akan terjadi dengan segera setelah terjadi keretakan miring tanpa peringatan yang cukup. Bila beban ditingkatkan retak lentur menyebar keseluruh penampang beton dengan momen yang lebih kecil tetapi gaya geser yang lebih besar, sehingga terjadi retak geser lentur. Meningkatnya retak geser melebar dan merambat sampai menembus sisi atas dari balok dan runtuh dengan tiba-tiba tanpa memberikan peringatan lendutan yang cukup (gambar 5.11). Keruntuhan ini disebut keruntuhan getas atau (*brittle*).

Dari hasil penelitian kuat tekan beton didapatkan f'_c sebesar 25,084 MPa, selanjutnya dihitung kapasitas kemampuan beton (tanpa penulangan geser) untuk menahan geser sebagai berikut ini.

$$V_c = 1/6 \sqrt{f'_c} \cdot bw \cdot d \quad (5.1)$$

Perhitungan geser terhadap beban dari hasil pengujian ternyata penampang

Overreinforced perlu penulangan geser guna menahan gaya geser yang terjadi.

Demikian pula pada penampang *Underreinforced* tetapi gaya geser yang terjadi cukup kecil. Sehingga retak yang terjadi masih menunjukkan retak lentur dan retak ini cenderung merambat diluar sepertiga bentang tengah(gambar 5.5, 5.6, 5.7).

