

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan benda uji berbentuk balok berukuran $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}^3$ dan kubus berukuran $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel-tabel dibawah ini.

4.1.1 Hasil pengujian Kuat Desak

Tabel 4.1 Kuat desak beton normal pada umur 7 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm^3)	P_{desak} (kN)	Kuat desak (kg/cm^2)
1.	13	15,15	15,19	15,1	8,3	0,00239	560	247,9658
2.	13	14,99	15	15	8,2	0,0024	455	206,2019
3.	13	15,025	15,07	15,02	8,13	0,00238	735	330,7758
4.	13	15,05	15,15	15,29	8,25	0,00237	610	272,6182
5.	13	15,05	15,05	15,09	8,15	0,00238	580	260,9931
6.	13	14,99	15,04	15,015	8,08	0,00239	615	277,9712
7.	13	15,13	15,07	15,2	8	0,00237	420	187,7038
8.	13	15	15,18	15,175	8,25	0,00238	600	268,5112

Tabel 4.2 Kuatdesak beton serat lurus 2 % umur 7 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm^3)	P_{desak} (kN)	Kuat desak (kg/cm^2)
1.	8	14,96	15,08	15,06	8,1	0,00238	600	271,0145
2.	8	15,07	15,08	15,05	8,25	0,00241	630	282,4881
3.	8	15,06	15,06	15,24	8,3	0,0024	580	260,5867
4.	8	14,98	15,1	15,12	8,305	0,00243	640	288,3138
5.	8	15,09	15,03	15,1	8,35	0,00244	630	283,0522
6.	8	15,08	14,98	15,08	8,22	0,00242	625	281,9298
7.	8	15,02	15,06	15,09	8,185	0,0024	660	297,3194
8.	8	15,01	14,98	15,05	8,17	0,00241	675	305,9042

Tabel 4.3 Kuat desak beton serat lurus 3 % umur 7 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{desak} (kN)	Kuat desak (kg/cm ²)
1.	5	15,13	15,02	15,1	8,395	0,00245	695	311,6378
2.	5	14,99	15,14	15,08	8,34	0,00245	650	291,8502
3.	5	15,01	14,97	15,06	8,145	0,00241	640	290,2363
4.	5	15,01	14,98	15,05	8,24	0,00243	610	276,4468
5.	5	15,03	15,05	15,04	8,36	0,00246	660	297,319
6.	5	15,02	15,05	15,01	8,36	0,00242	720	325,006
7.	5	15,01	15,05	15,06	8,29	0,00244	675	304,4814
8.	5	14,96	15,05	15,04	8,285	0,00245	650	294,1843

Tabel 4.4 Kuat desak beton normal umur 28 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{desak} (kN)	Kuat desak (kg/cm ²)
1.	12,5	14,96	15,1	15,41	8,19	0,00235	775	349,5967
2.	12,5	15,190	14,92	15,04	8,09	0,00237	800	359,6976
3.	12,5	15,38	15,05	15	8,225	0,00236	740	325,7715
4.	12,5	15,15	15,1	15,23	8,117	0,00235	720	320,7134
5.	12,5	15,17	15,35	15,36	8,345	0,00233	835	365,3984
6.	12,5	14,92	15	15,19	8,015	0,00236	810	368,807
7.	12,5	14,87	15,01	14,5	8,025	0,00246	700	319,5807
8.	12,5	15,14	15,14	15,42	8,345	0,00236	800	355,6415

Tabel 4.5 Kuat desak beton serat lurus 2 % umur 28 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{desak} (kN)	Kuat desak (kg/cm ²)
1.	9	14,95	14,96	15,06	8,146	0,00242	915	416,8914
2.	9	15,11	15	15,2	8,23	0,00239	800	359,6735
3.	9	15,15	15,1	15,05	8,393	0,00244	810	360,8026
4.	9	15	15	15,07	8,212	0,00242	800	362,311
5.	9	15,09	14,98	15,05	8,067	0,00238	925	416,9797
6.	9	15,2	15,12	15,2	8,285	0,00238	815	362,311
7.	9	15,08	15,16	15,14	8,365	0,00242	905	403,3873
8.	9	14,98	15	14,96	8,293	0,00246	775	351,4575

Tabel 4.6 Kuat desak beton serat lurus 3 % umur 28 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{desak} (kN)	Kuat desak (kg/cm ²)
1.	6	15,01	15,03	15,01	8,341	0,00245	725	327,471
2.	6	15,1	14,76	15	8,125	0,00243	995	454,9189
3.	6	14,9	15,08	15	8,33	0,00247	1085	492,058
4.	6	15,17	15,01	15	8,497	0,00248	1030	460,941
5.	6	15,58	15,33	15,2	8,38	0,00231	1020	435,1758
6.	6	14,92	14,95	15,07	8,147	0,00242	930	424,8612
7.	6	15,12	15,01	15,02	8,345	0,00245	1095	491,6497
8.	6	15,02	15,1	15,04	8,286	0,002453	985	442,5312

4.1.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur

Tabel 4.7 Kuat lentur beton normal umur 7 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	12	40,1	10,16	10,21	10,1	0,00236	1192,5	33,778
2.	12	40,1	10	10,11	9,7	0,00239	1067,5	31,3319
3.	12	40,2	10,06	10,21	9,715	0,00236	950	27,1766
4.	12	40,2	9,96	10,2	9,64	0,00236	895	25,911
5.	12	40,1	10,14	10,16	9,91	0,0024	1405	40,2691
6.	12	40,2	9,99	10,21	9,84	0,0024	1202,5	43,6409
7.	12	39,9	9,98	10,12	9,6	0,00238	1405	41,2388
8.	12	40,1	10	10,14	9,7	0,00239	1375	40,1188

Tabel 4.8 Kuat lentur beton serat lurus 2 % umur 7 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	7,5	40,15	10,11	10,13	10,15	0,00247	1375	39,7606
2.	7,5	40	10,2	10,16	10	0,00241	1180	33,6214
3.	7,5	40,1	9,9	10,14	9,75	0,00242	1125	36,1032
4.	7,5	40,2	9,97	10,07	9,7	0,0024	1345	39,9107
5.	7,5	40,1	9,98	10,02	9,5	0,00237	1305	39,0720
6.	7,5	40,1	10,12	10,1	9,85	0,0024	1280	37,157
7.	7,5	40,2	9,93	10,16	9,45	0,00243	1215	35,3464
8.	7,5	40,1	10,08	10,13	10,1	0,00247	1195	34,6595

Tabel 4.9 Kuat lentur beton serat lurus 3 % umur 7 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	4,5	40	9,7	10,13	9,7	0,00247	1170	35,2628
2.	4,5	40,25	9,7	10,11	9,85	0,00247	1155	34,9485
3.	4,5	40	10,1	10,02	9,77	0,00243	1355	40,4474
4.	4,5	39,8	10,05	10,05	10,13	0,00252	1515	45,2238
5.	4,5	39,5	10,05	10	9,89	0,00249	1430	42,2629
6.	4,5	39,5	10,05	10,26	9,20	0,00243	1310	37,1437
7.	4,5	39,85	10,1	10,02	9,83	0,00244	1365	40,3827
8.	4,5	40,15	10	10,01	9,88	0,00246	1420	42,5149

Tabel 4.10 Kuat lentur beton serat berkait 2 % umur 7 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	6	40,2	9,97	10,05	9,675	0,0024	1387,5	41,3359
2.	6	40	9,99	10,02	10,03	0,00251	1390	41,7424
3.	6	40	9,97	10,03	9,42	0,00236	1340	40,0881
4.	6	40,1	9,99	10,04	10,055	0,00252	1285	38,6297
5.	6	40,2	9,98	10,03	9,88	0,00246	1375	41,0858
6.	6	40,2	10,18	10,17	10,32	0,00248	1515	43,1662
7.	6	39,9	9,97	10,08	9,755	0,00243	1465	43,9776
8.	6	40	9,9	10,05	9,685	0,00243	1347,5	40,0638

Tabel 4.11 Kuat lentur beton serat berkait 3 % umur 7 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	4	40,2	10,22	10,19	10,4	0,00248	1480	41,8392
2.	4	40,1	10,08	10,07	10,37	0,00255	1455	42,7036
3.	4	40,1	9,98	10,06	9,495	0,00236	1465	46,4846
4.	4	40,2	9,99	10,04	9,915	0,00246	1460	43,4952
5.	4	39,9	10,02	10,05	9,975	0,00248	1405	41,6463
6.	4	40,1	10,06	10,05	10,39	0,00256	1460	43,1066
7.	4	39,9	9,98	10,02	9,85	0,00247	1620	48,5032
8.	4	40	10,02	10,01	9,883	0,00246	1390	41,5337

Tabel 4.12 Kuat lentur beton beton normal umur 28 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	12	40	10,01	10,16	9,64	0,00237	1450	42,0986
2.	12	39,5	10,03	10,04	9,535	0,0024	1250	37,0906
3.	12	39,9	10,07	10,09	9,925	0,00245	1650	48,2829
4.	12	39,9	10,1	10,15	9,725	0,00238	1510	43,5356
5.	12	40	9,98	10,05	9,625	0,00239	1550	46,1037
6.	12	39,9	10	10,15	9,64	0,00238	1535	44,699
7.	12	40	9,97	10,1	9,515	0,00235	1475	43,5086
8.	12	39,9	10,03	10,27	9,83	0,00239	1655	46,9329

Tabel 4.13 Kuat lentur beton serat lurus 2 % umur 28 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	8	40	10	10,2	10,09	0,00247	1610	46,4245
2.	8	40	10,1	10,1	9,845	0,00241	1355	39,4545
3.	8	40,1	10,15	10,15	10,1	0,00244	1690	48,4853
4.	8	40,2	10	10,18	9,867	0,00241	1650	47,765
5.	8	40,1	10	10,12	9,832	0,00242	1555	45,5502
6.	8	39,9	10,16	10	10,073	0,00248	1790	52,8543
7.	8	40,1	9,98	10,2	9,768	0,00239	1300	37,5607
8.	8	39,9	10,11	10,06	9,885	0,00244	1735	50,8714

Tabel 4.14 Kuat lentur beton serat lurus 3 % umur 28 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	6,5	39,8	10	10,16	9,668	0,00238	1565	45,4829
2.	6,5	39,8	10,04	10,1	9,87	0,00245	1610	47,1456
3.	6,5	39,9	10,02	10,09	9,962	0,00247	1600	47,0393
4.	6,5	39,9	10,04	10,07	9,89	0,00245	1775	52,303
5.	6,5	40	10,01	10,09	9,824	0,00243	1630	47,9836
6.	6,5	39,9	10	10	9,745	0,00244	1600	48
7.	6,5	39,9	10,02	10,02	9,734	0,00243	1540	45,9239
8.	6,5	39,9	10,03	10,11	9,885	0,00244	1525	44,625

Tabel 4.15 Kuat lentur beton serat berkait 2 % 28 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	4,5	39,7	10,04	10,02	9,81	0,00246	1725	51,3383
2.	4,5	40,1	9,98	10,13	10,025	0,00247	1650	48,3343
3.	4,5	40,1	10,02	10	9,74	0,00242	1500	44,9102
4.	4,5	39,8	10	10,2	9,955	0,00245	2100	60,5536
5.	4,5	39,8	10	10,1	9,967	0,00248	1740	51,1715
6.	4,5	40	10	10,04	10,067	0,00251	1875	55,8027
7.	4,5	40	10,02	10,08	9,98	0,00246	1970	58,0669
8.	4,5	49,95	10,06	10,02	9,874	0,00245	1705	50,6573

Tabel 4.16 Kuat lentur beton serat berkait 3 % 28 hari

No.	Slump (cm)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/cm ³)	P _{lentur} (kg)	Kuat lentur (kg/cm ²)
1.	3	39,8	10,06	10,12	10,019	0,00247	2040	59,4008
2.	3	39,8	10,04	10,15	9,986	0,00246	2050	59,4579
3.	3	40	10,01	10,01	10,027	0,00250	2000	59,8204
4.	3	39,9	10	10,06	9,994	0,00249	1500	44,4648
5.	3	40	9,99	10,2	9,978	0,00245	2360	68,1189
6.	3	39,9	10	10,1	9,823	0,00244	2290	67,3463
7.	3	39,9	10	10,1	9,922	0,00246	1700	49,9951
8.	3	40	10,03	10,02	10,055	0,0025	1980	58,9862

4.2 Analisa

4.2.1 Kuat Desak Beton

Benda uji yang digunakan untuk mengetahui kuat desak karakteristik menurut ACI adalah silinder, sedangkan benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah kubus. Untuk itu, hasil penelitian yang didapat harus dikonversikan agar memenuhi ketentuan ACI.

$$f'_c \text{ silinder} = 0,83 \cdot f'_c \text{ kubus}$$

Untuk mencari kuat tekan karakteristik beton, maka beton umur 7 hari dikonversikan menjadi beton berumur 28

hari. Perbandingan kuat tekan beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia tahun 1971 (PBBI, 1971) adalah :

$$f'_c \text{ umur 7 hari} = 0,65 f'_c \text{ umur 28 hari}$$

Untuk mencari kuat tekan karakteristik dipakai rumus-rumus di bawah ini :

$$\text{Kuat desak} = \frac{P}{A}$$

$$f_c = \text{Kuat desak} \cdot k_b \cdot k_u, \text{ jika umur beton 7 hari}$$

$$= \text{Kuat desak} \cdot k_b, \text{ jika umur beton 28 hari}$$

$$f'_{cr} = \frac{\frac{1}{N} \sum f_c}{N}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\frac{1}{N-1} \sum (f_c - f'_{cr})^2}{N-1}}$$

$$m = k \cdot S_d$$

$$f'_c = f'_{cr} - m$$

Keterangan :

P : beban maksimum (kN)

dengan 1 kN = 101,9 kg

A : luas permukaan (cm²)

f_c : kuat desak beton menurut standar ACI (MPa)

k_b : konversi bentuk

$$= 0,83$$

k_u : konversi umur

$$= 1/0,65 = 1,5385$$

f'_{cr} : kuat desak beton rata-rata (MPa)

N : jumlah benda uji

S_d : standar deviasi (MPa)

m : nilai margin (MPa)

k : konstanta

$$= 1.54$$

f'_c : kuat tekan karakteristik beton (MPa)

Pada tabel-tabel dibawah ini dapat dilihat kuat desak beton dengan benda uji nomor 1-8 adalah beton yang diuji pada umur 7 hari dan nomor 9-16 adalah beton yang diuji pada umur 28 hari.

Tabel 4.17 Kuat desak beton normal pada umur 7 hari

No.	Kuat desak (kg/cm ²)	f_c (MPa)
1.	247,9658	20,5812
2.	206,2019	17,1476
3.	330,7758	27,4544
4.	272,6182	22,6273
5.	261,9331	21,6575
6.	277,9712	23,0716
7.	187,703	15,5794
8.	268,5112	22,3019
$\Sigma = 170,388$		

$$f'_{cr} = \frac{170,388}{8}$$

$$= 21,2995 \text{ MPa}$$

Tabel 4.18 Kuat desak beton serat lurus 2 % pada umur 7 hari

No.	Kuat desak (kg/cm ²)	f _c (MPa)
1.	271,0145	22,4942
2.	282,4881	23,4465
3.	260,5867	21,6287
4.	288,3138	23,393
5.	283,0522	23,4933
6.	281,9298	23,4002
7.	297,3139	24,6775
8.	305,9042	25,39
		Σ = 188,4604

$$f'_{cr} = \frac{188,4604}{8}$$

$$= 23,5576 \text{ MPa}$$

Tabel 4.19 Kuat desak beton serat lurus 3 % pada umur 7 hari

No.	Kuat desak (kg/cm ²)	f _c (MPa)
1.	311,6378	25,8659
2.	291,8502	24,2236
3.	290,2363	24,0008
4.	276,4468	22,9451
5.	297,319	24,6775
6.	324,5639	26,9388
7.	304,4814	25,272
8.	294,1843	24,4173
		Σ = 198,429

$$f'_{cr} = \frac{198,429}{8}$$

$$= 24,8036 \text{ MPa}$$

Tabel 4.20 Kuat desak beton normal umur 28 hari

No.	Kuat desak (kg/cm ²)	f _c (MPa)	f _c -f' _{cr}	(f' _c -f' _{cr}) ²
1.	247,9658	31,6333	0,9368	0,8776
2.	206,2019	26,3304	-4,3961	19,3257
3.	330,7758	42,2375	11,511	132,5031
4.	272,6182	34,8112	4,4808	16,6858
5.	261,9331	33,3192	2,5927	6,7221
6.	277,9712	35,4948	4,7533	22,7367
7.	187,703	23,9682	-6,7583	45,6746
8.	268,5112	34,2868	3,5603	12,6757
9.	349,5967	29,0165	-1,71	2,2941
10.	359,6976	29,8549	-0,8716	0,7597
11.	325,7715	27,0390	-3,6875	13,5977
12.	320,7134	26,6192	-4,1073	16,8699
13.	365,3984	30,3280	-0,3984	0,1587
14.	368,807	30,6109	-0,1155	0,0133
15.	319,5807	26,5252	-4,2013	17,6509
16.	355,6415	29,5182	-1,2033	1,46
		Σ = 491,624		Σ = 310,6354

$$f'_{cr} = \frac{491,624}{16}$$

$$= 30,7265 \text{ MPa}$$

Nilai k diambil sebesar 1,54 untuk 16 benda uji berdasarkan gambar 2.5 (Kusnadi, ITB).

$$S_d = \frac{310,6354}{16-1}$$

$$= 4,5507 \text{ MPa}$$

$$m = 1,54 \cdot 4,5507$$

$$= 7,0081 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 30,7265 - 7,0081$$

$$= 23,7184 \text{ MPa} > f'_c = 22,5 \text{ MPa}$$

Tabel 4.21 Kuat desak beton serat lurus 2 % umur 28 hari

No.	Kuat desak (kg/cm ²)	f _c (MPa)	f _c -f' _{cr}	(f' _c -f' _{cr}) ²
1.	271,0145	34,6065	0,7523	0,566
2.	282,4881	36,0716	2,2174	4,91690
3.	260,5867	33,2749	-0,5793	0,3356
4.	288,3128	36,8155	2,9613	8,7693
5.	283,0522	36,1436	2,2894	5,2414
6.	281,9298	36,0003	2,1461	4,6057
7.	297,3194	37,9654	4,1112	16,902
8.	305,9042	39,0616	5,2074	27,117
9.	416,891	34,602	0,7478	0,5592
10.	359,6735	29,8529	-4,0013	16,0104
11.	360,8026	29,9466	-3,9076	15,2693
12.	362,311	30,0718	-3,7824	14,3065
13.	416,9797	34,6093	0,7551	0,5702
14.	361,357	29,9926	-3,8616	14,912
15.	403,3873	33,4811	-0,3731	0,1392
16.	351,4575	29,171	-4,6832	21,9324
		Σ = 541,6667		Σ = 152,1531

$$f'_{cr} = \frac{541,6667}{16}$$

$$= 33,8542 \text{ MPa}$$

$$s_d = \sqrt{\frac{152,1531}{16-1}}$$

$$= 3,1849 \text{ MPa}$$

$$m = 1,54 \cdot 3,1849$$

$$= 4,9047 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 33,8542 - 4,9047$$

$$= 28,9495 \text{ MPa}$$

Tabel 4.22 Kuat desak beton serat lurus 3 % umur 28 hari

No.	Kuat desak (kg/cm ²)	f _c (MPa)	f _c -f' _{cr}	(f' _c -f' _{cr}) ²
1.	311,6378	39,7937	2,3779	5,6544
2.	291,8502	37,2670	-0,1488	0,0221
3.	290,2363	37,0608	-0,3549	0,125
4.	276,4468	35,3001	-2,1157	4,4762
5.	297,3190	37,9653	0,5495	0,302
6.	324,5639	41,4443	4,0285	16,2288
7.	304,4814	38,8799	1,4641	2,1436
8.	294,1843	37,5651	0,1493	0,0223
9.	327,4708	27,1801	-10,2347	104,7696
10.	454,9189	38,1733	0,7575	0,5738
11.	492,058	40,8408	3,425	11,7306
12.	460,9408	38,2581	0,8423	0,7095
13.	435,1758	36,1196	-1,2962	1,6801
14.	424,8612	35,2635	-2,1523	4,6324
15.	491,6497	40,8093	3,3935	11,5158
16.	442,5512	36,7317	-0,6841	0,468
		Σ = 598,6527		Σ = 165,0516

$$f'_{cr} = \frac{598,6527}{16}$$

$$= 37,4158 \text{ MPa}$$

$$s_d = \sqrt{\frac{165,0516}{16-1}}$$

$$= 3,3171 \text{ MPa}$$

$$m = 1,54 \cdot 3,3171$$

$$= 5,1083 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 37,4158 - 5,1083$$

$$= 32,3075 \text{ MPa}$$

4.2.2 Kuat lentur beton

Pada pengujian lentur beton, nilai kuat lentur beton diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan rumus :

$$\sigma_{lt} = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2}$$

$$\sigma_{lt} \text{ rata-rata} = \frac{\sum \sigma_{lt}}{N}$$

Keterangan :

σ_{lt} : kuat lentur masing-masing benda uji

P : beban maksimum (kg)

L : jarak tumpuan (cm)

= 30 cm

b : lebar balok (cm)

h : tinggi balok (cm)

N : jumlah benda uji

Kuat lentur masing-masing benda uji dapat dilihat pada tabel 4.7 sampai tabel 4.16, sedangkan kuat lentur rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.23.

Contoh perhitungan kuat lentur beton normal umur 7 hari

$$\begin{aligned} \sum \sigma_{lt} &= 33,7780 + 31,3319 + 27,1766 + 25,9110 + 40,2691 + \\ &\quad 43,6409 + 41,2388 + 40,1188 \\ &= 283,4651 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{lt} \text{ rata-rata} &= \frac{283,4651}{8} \\ &= 35,4331 \text{ kg/cm}^2 = 3,5433 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tabel 4.23 Kuat lentur rata-rata beton umur 7 dan 28 hari

No.	Kode	Kuat lentur (MPa)	
		7 hari	28 hari
1.	BN	3,5433	4,4044
2.	BL2	3,6959	4,6121
3.	BL3	3,9774	4,7313
4.	BK2	4,1261	5,2606
5.	BK3	4.3644	5,8132

4.3 Pembahasan

4.3.1 Workability

Dalam proses pembuatan adukan beton serat ini, digunakan faktor air semen (fas) yang tetap, dengan tidak menambahkan pasta semen. Hal ini bertujuan agar mengetahui pengaruh penambahan serat pada adukan beton. Pengaruh penambahan serat pada adukan beton dapat dilihat dari nilai slump yang terjadi.

Pada adukan beton normal, proses pengadukkan lebih mudah dilakukan dan nilai slump yang didapat masih cukup tinggi. Dengan adanya penambahan serat pada adukan, nilai slump mengecil yang berarti kelecakan beton semakin berkurang. Hal ini menyebabkan proses pengadukan dan pengecoran beton lebih sulit daripada beton non serat.

Pada proses pengadukan tidak terjadi "balling effect" atau penggumpalan serat menjadi satu. Hal ini dimungkinkan karena volume serat yang ditambahkan kecil dan aspek rasio serat yang rendah, sehingga serat masih mudah disebar secara merata oleh mesin pengaduk beton.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan serat pada beton akan menurunkan kelecakan, mengurangi workability, yang berakibat menimbulkan sedikit kesulitan dalam pengerjaan beton.

4.3.2 Kuat Desak Beton

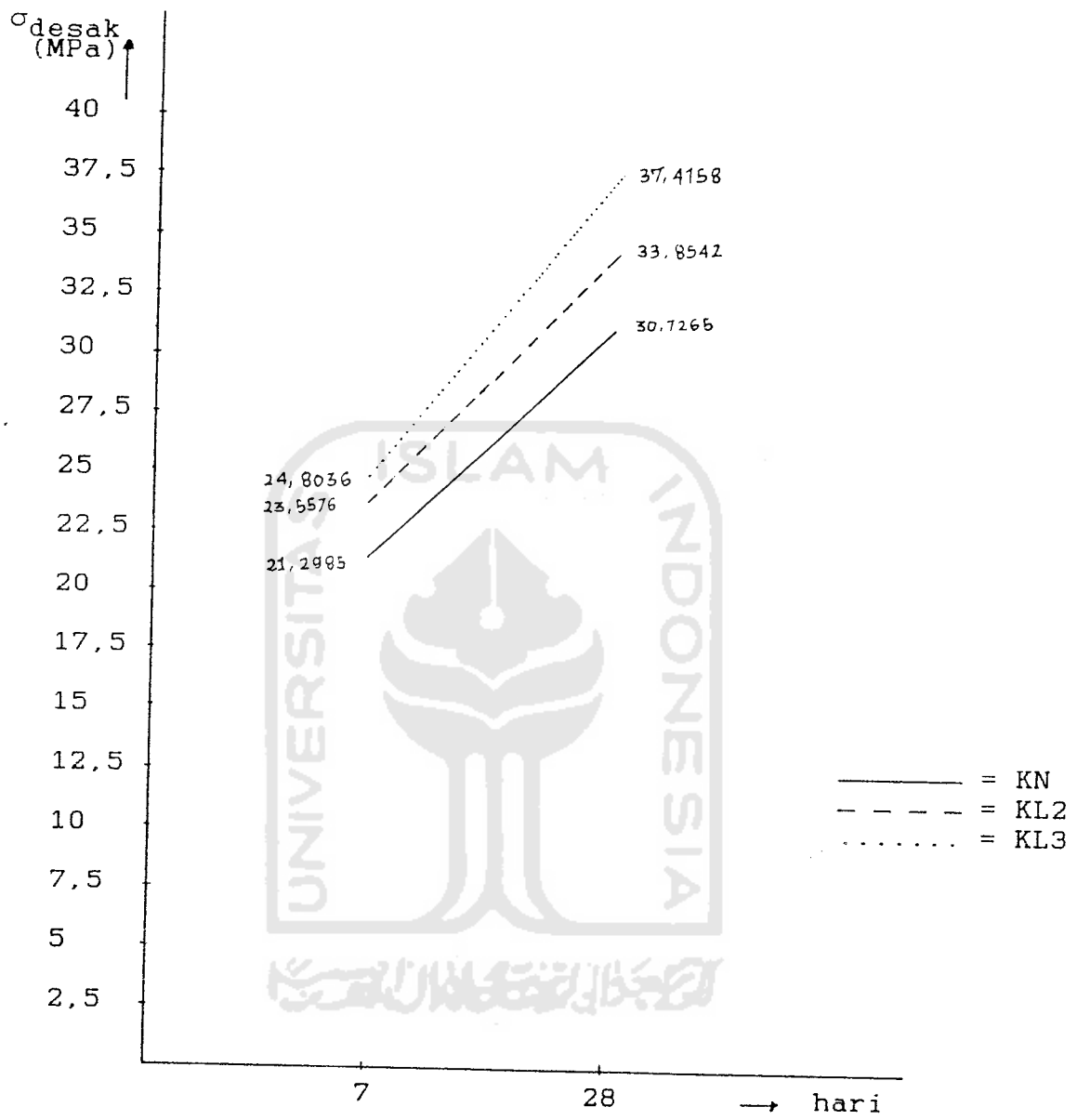
Hasil pengujian desak rata-rata beton pada umur 7 hari dapat dilihat pada tabel 4.24, sedangkan kuat desak rata-rata dan kuat desak karakteristik beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada tabel 4.25.

Tabel 4.24 Kuat desak rata-rata beton pada umur 7 hari

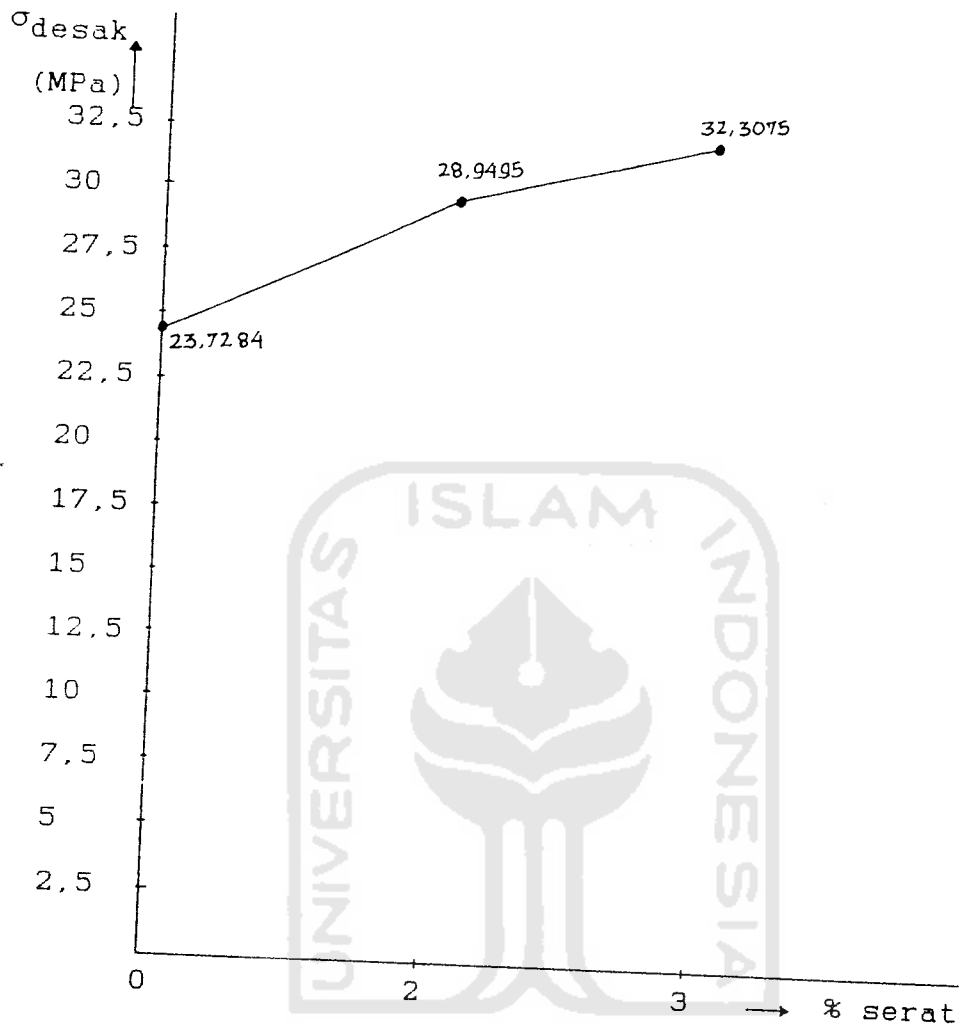
No.	Kode	f'_{cr} (MPa)	%
1.	KN	21,2985	0
2.	KL2	23,5576	10,6069
3.	KL3	24,8036	16,4570

Tabel 4.25 Kuat desak rata-rata dan karakteristik beton pada umur 28 hari

No.	Kode	f'_{cr} (MPa)	S_d (MPa)	f'_c (MPa)	%
1.	KN	30,7265	4,5507	23,7284	0
2.	KL2	33,8542	3,1849	28,9495	22,0036
3.	KL3	37,4158	3,3171	32,3075	36,1554



Gambar 4.1 Grafik hubungan kuat desak rata-rata beton dengan umur beton



Gambar 4.2 Grafik hubungan kuat desak karakteristik beton dengan prosentase serat lurus

Dari tabel 4.14 dan 4.25 dapat dilihat bahwa kuat desak rata-rata pada umur 7 hari adalah 21,2985 MPa untuk beton normal, 23,5576 MPa untuk beton serat 2 %, dan 24,8036 MPa untuk beton serat 3 %, sedangkan kuat desak rata-rata pada umur 28 hari adalah 30,7265 MPa untuk beton normal, 33,8542 MPa untuk beton serat 2 %, dan 37,4158 MPa untuk beton serat 3 %. Dengan demikian, penambahan serat baja menyebabkan peningkatan kuat desak rata-rata beton, baik pada umur 7 hari maupun umur 28 hari.

Kuat desak karakteristik beton normal, serat 2 % dan 3 % adalah 23,7284 MPa, 28,9495 MPa, dan 32,3075 MPa. Dengan demikian, mutu benda uji telah memenuhi mutu beton yang direncanakan yaitu 22,5 MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kuat desak karakteristik beton dengan kandungan serat 3 % lebih besar dari beton serat 2 %, yaitu sebesar 36,1554 % terhadap beton normal. Hal ini terjadi karena adanya ikatan yang cukup kuat antara serat baja dengan beton.

Pada pelaksanaan pengujian kuat desak beton terlihat beton non serat hancur/pecah secara mendadak pada beban maksimum dengan pecahan beton saling terlepas. Pada beton berserat, beton tidak pecah secara mendadak dan pecahannya tidak terlepas semua karena tertahan oleh kawat baja.

Peningkatan kuat desak beton akibat penambahan serat juga ditunjukkan oleh persamaan regresi (statistika). Persamaan kurva parabola yang didapat adalah :

1. kuat desak beton umur 7 hari

$$y = 21,3012 + 0,965 x + 0,066 x^2$$

$$r = 0,55$$

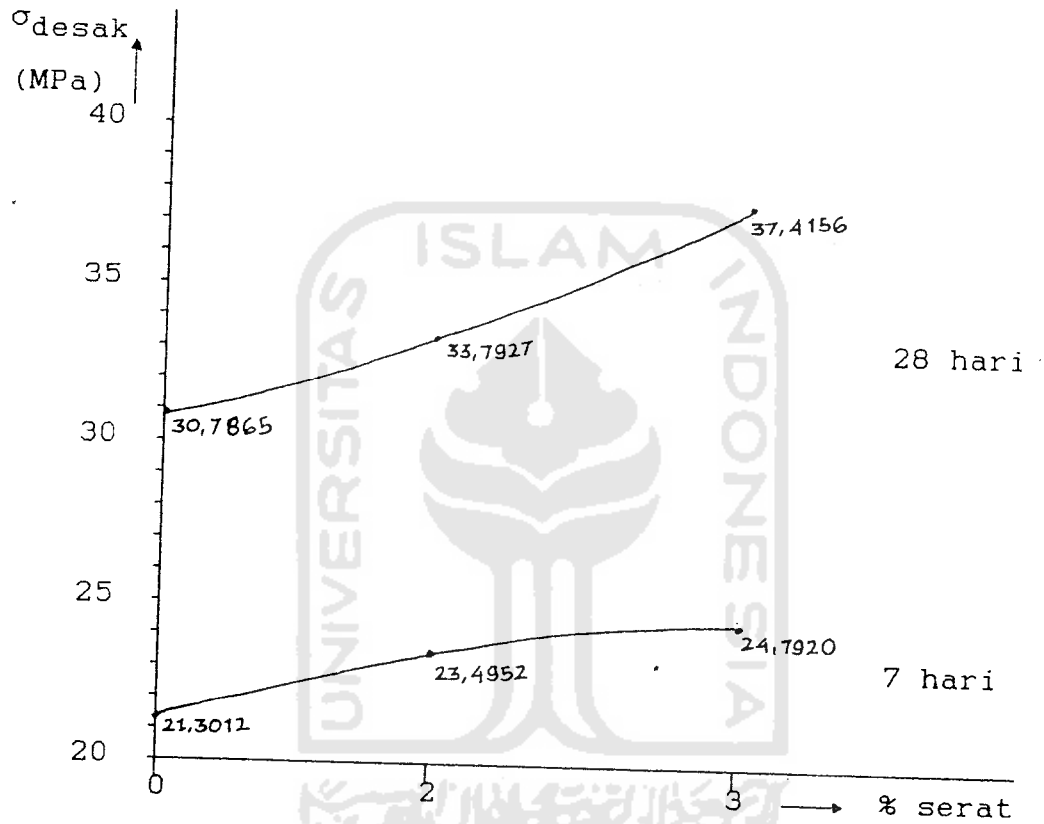
2. kuat desak beton umur 28 hari

$$y = 30,7865 + 0,0899 x + 0,7066 x^2$$

$$r = 0,58$$

Dari nilai r untuk 7 hari dan 28 hari diatas, ternyata pengaruh penambahan konsentrasi serat mempunyai pengaruh cukup besar terhadap penambahan kuat desak beton.

Kurva parabola untuk kuat desak beton umur 7 hari dan 28 hari dapat dilihat pada gambar 4.3, sedangkan perhitungan regresi dapat dilihat pada lampiran.



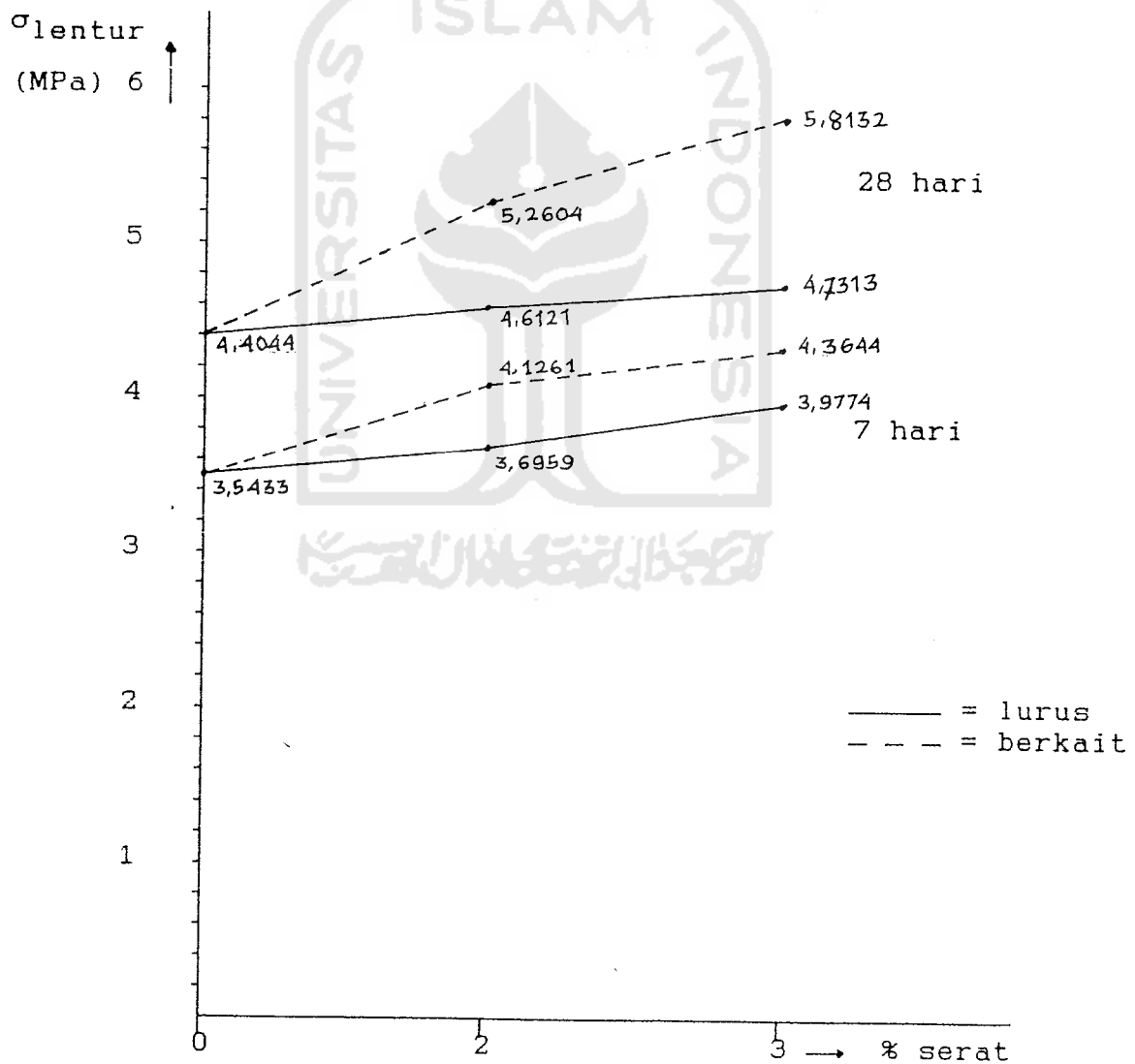
Gambar 4.3 Grafik regresi kuat desak rata-rata beton serat lurus pada umur 7 hari dan 28 hari

4.3.3 Kuat lentur beton

Kenaikan kuat lentur akibat penambahan serat dapat dilihat pada tabel 4.26 dan gambar 4.4.

Tabel 4.26 Kuat lentur rata-rata pada beton

No.	Kode	Kuat Lentur (MPa)			
		7 hari	%	28 hari	%
1.	BN	3,5433	0	4,4044	0
2.	BL2	3,6959	7,7239	4,6121	4,7157
3.	BL3	3,9774	15,9288	4,7313	7,4221
4.	BK2	4,1261	20,2629	5,2604	19,4351
5.	BK3	4,3644	27,2086	5,8132	31,9862



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara kuat lentur rata-rata beton dengan prosentase serat

Dari tabel dan gambar di atas, dapat dilihat bahwa beton serat mempunyai kuat lentur yang lebih tinggi daripada beton normal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serat kait 3 % mencapai hasil kuat lentur yang lebih tinggi dibanding beton normal, beton serat lurus 2 %, dan beton serat kait 3 % yaitu 31,9862 % pada umur 28 hari.

Peningkatan kuat lentur beton akibat penambahan serat juga ditunjukkan oleh persamaan regresi (statistika). Persamaan kurva parabola yang didapat adalah :

1. kuat lentur beton serat lurus umur 7 hari

$$y = 3,5433 - 0,0605 x + 0,0684 x^2$$

$$r = 0,3555$$

2. kuat lentur beton serat lurus umur 28 hari

$$y = 4,4032 + 0,0942 x + 0,0051 x^2$$

$$r = 0,3497$$

3. kuat lentur beton serat berkait umur 7 hari

$$y = 3,5443 - 0,1955 x + 0,1913 x^2$$

$$r = 0,5783$$

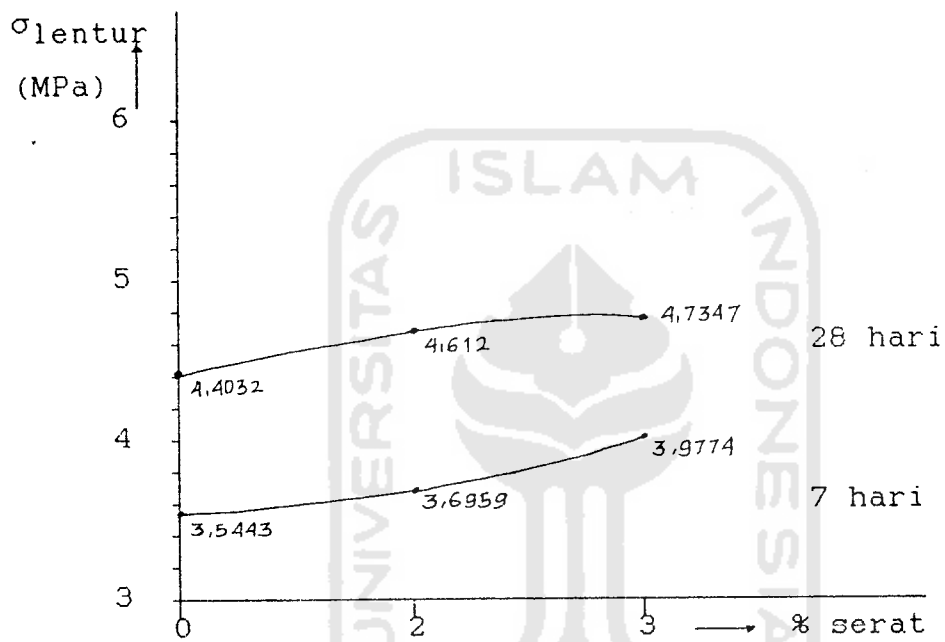
4. kuat lentur beton serat berkait umur 28 hari

$$y = 4,4032 + 0,3248 x + 0,0519 x^2$$

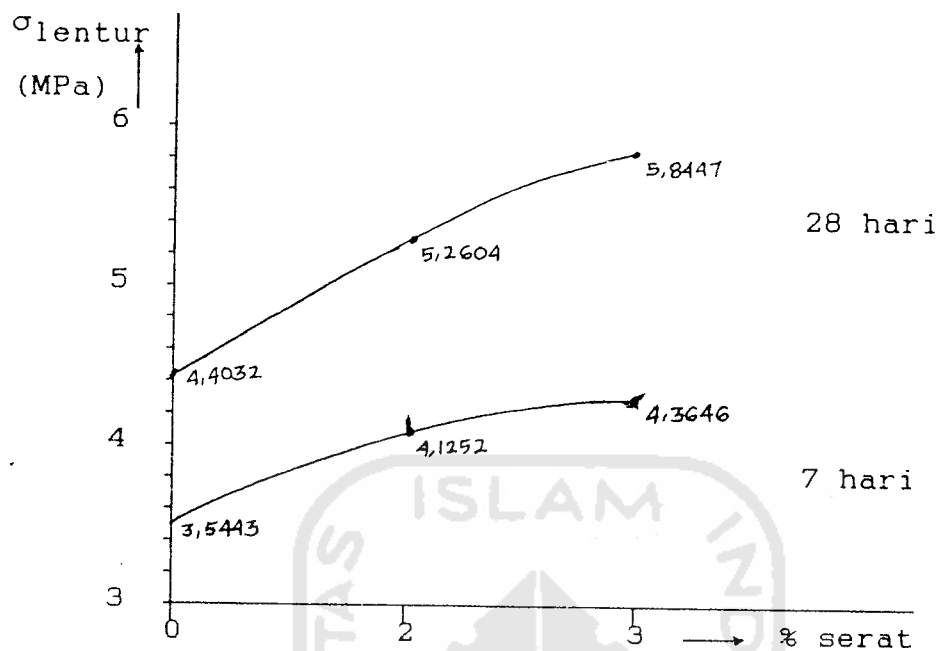
$$r = 0,7369$$

Dari nilai-nilai r diatas, ternyata untuk beton serat lurus penambahan prosentase serat sedikit berpengaruh terhadap penambahan kuat lentur, sedangkan untuk beton serat kait penambahan prosentase serat berpengaruh cukup besar terhadap penambahan kuat lentur beton.

Kurva parabola untuk kuat lentur beton serat lurus umur 7 hari dan 28 hari dapat dilihat pada gambar 4.5, dan beton serat berkait pada gambar 4.6, sedangkan perhitungan regresi dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.5 Grafik regresi kuat lentur rata-rata beton serat lurus pada umur 7 hari dan 28 hari



Gambar 4.6 Grafik regresi kuat lentur rata-rata beton serat kait pada umur 7 hari dan 28 hari

Kuat lentur yang didapat dari penambahan serat lurus tidak jauh berbeda dengan beton non serat. Pada serat lurus, kawat baja mudah terlepas dari beton karena diameter yang kecil sehingga kuat lekat ("bond strength") antara serat dan beton kecil.

Dibandingkan dengan serat lurus, serat berkait memberi kenaikan kuat lentur yang besar. Hal ini dikarenakan serat berkait yang terletak secara random dalam beton berfungsi sebagai angker yang dapat menahan slip antara serat dengan beton, sehingga "pull out resistance" akan meningkat. Dengan demikian, kuat lekat ("bond strength") serat berkait lebih besar daripada serat lurus.

Pada pengujian balok beton non serat, begitu beban mencapai maksimum dan terjadi retak pertama maka balok akan

segera patah secara tiba-tiba. Hal ini menunjukkan bahwa beton non serat bersifat getas ("brittle"). Pada beton serat, meskipun telah terjadi retak dan mencapai beban maksimum beton tidak patah karena tertahan oleh adanya serat kawat baja (sifat beton menjadi daktil). Pada beberapa benda uji, beton tidak putus meskipun telah dipatahkan karena tertahan oleh serat.

Dari hasil pengamatan terhadap patahan benda uji terlihat bahwa sebagian serat tercabut dari beton. Hal ini menunjukkan bahwa kuat tarik kawat baja lebih tinggi dari kuat lekat ("bond strength") antara serat dan beton.

