

## BAB VI

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 6.1 Hasil Penelitian

Hasil uji sampel benda uji ini mencakup dua hal yaitu pengujian berat volume dan hasil pengujian kuat tekan beton. Hasil uji ini didapat pada saat benda uji berumur 14 dan 28 hari.

##### 6.1.1 Hasil Pengujian Berat Volume

Tabel 6.1 Data berat volume beton K<sub>300</sub> pada umur 14 hari

No	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )
1	15.0	29.8	5266.0902	12.114	2.3004
2	15.0	30.2	5336.7760	12.314	2.3074
3	15.1	29.7	5318.6310	12.182	2.2904
4	15.0	30.1	5319.1046	12.280	2.3087
5	14.9	29.9	5213.5464	12.134	2.3274
6	15.1	30.0	5372.3545	12.210	2.2727
7	14.9	30.1	5248.4196	12.165	2.3178
8	15.1	29.6	5300.7231	12.264	2.3136
9	14.9	30.0	5230.9830	12.143	2.3214
10	15.0	30.0	5301.4331	12.206	2.3024
11	14.9	29.9	5213.5464	12.153	2.3310
12	14.9	29.9	5213.5464	12.060	2.3132
13	15.0	29.8	5266.0902	12.014	2.2814
14	15.0	30.0	5301.4331	12.164	2.2945
15	14.9	30.0	5230.9830	12.165	2.3256
16	14.9	29.6	5161.2365	11.980	2.3211
<b>JUMLAH</b>					<b>36.9291</b>

$$B_{j\text{rata-rata}} = \frac{\sum B_j}{n} = 2.3081 \text{ ton.m}^3$$

Tabel 6.2 Data berat volume beton K<sub>350</sub> pada umur 14 hari

No	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )
1	15,1	29,7	5318,6310	12,154	2,2852
2	15,0	30,1	5319,1046	12,207	2,2949
3	14,9	29,9	5213,5464	12,097	2,3203
4	15,1	29,8	5336,5388	12,193	2,2848
5	14,9	30,0	5230,9830	12,145	2,3217
6	15,0	30,0	5301,4331	12,112	2,2847
7	14,9	30,0	5230,9830	12,108	2,3147
8	15,0	29,9	5283,7617	12,078	2,2859
9	15,0	30,0	5301,4331	12,114	2,2850
10	15,1	30,4	5443,9859	12,755	2,3430
11	15,0	30,0	5301,4331	12,257	2,3120
12	15,0	29,9	5283,7617	12,130	2,2957
13	15,0	30,0	5301,4331	12,205	2,3022
14	15,0	29,9	5280,7617	12,137	2,2970
15	14,9	29,8	5196,1097	12,010	2,3113
16	15,1	29,4	5264,9074	12,011	2,2813
<b>JUMLAH</b>					<b>36,8198</b>

$$B_{J_{rata-rata}} = \frac{\sum B_j}{n} = 2,3012 \text{ ton/m}^3$$

Tabel 6.3 Data berat volume beton K<sub>400</sub> pada umur 14 hari

No	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )
1	15,0	30,0	5301,4331	12,154	2,2926
2	15,2	29,4	5334,8722	12,207	2,2882
3	15,0	30,0	5301,4331	12,097	2,2818
4	14,9	30,0	5230,9830	12,193	2,3309
5	15,0	29,6	5230,7474	12,145	2,3218
6	15,0	30,0	5301,4331	12,112	2,2847
7	15,2	30,2	5480,0388	12,108	2,2095
8	15,0	30,2	5336,7760	12,078	2,2632
9	15,0	30,3	5354,4475	12,114	2,2624
10	15,0	30,0	5301,4331	12,755	2,4060
11	14,9	29,9	5213,5464	12,257	2,3510
12	15,1	30,0	5372,3545	12,130	2,2579
13	15,1	30,2	5408,1702	12,205	2,2568
14	14,8	30,0	5161,0041	12,137	2,3517
15	15,2	29,8	5407,4555	12,010	2,2210
16	15,0	30,0	5301,4331	12,011	2,2656
				<b>JUMLAH</b>	<b>36,6449</b>

$$B_{j\text{rata-rata}} = \frac{\sum B_j}{n} = 2,2903 \text{ ton.m}^3$$

Tabel 6.4 Data berat volume beton K<sub>300</sub> pada umur 28 hari

No	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )
1	14,9	29,6	5161,2365	12,088	2,3421
2	15,0	29,9	5283,7617	12,277	2,3235
3	14,9	29,8	5196,1097	12,119	2,3323
4	15,0	29,7	5248,4188	12,268	2,3375
5	15,0	29,5	5213,0759	12,127	2,3263
6	15,0	29,7	5248,4188	12,121	2,3095
7	15,0	29,9	5283,7617	12,173	2,3039
8	14,9	29,7	5178,6731	12,053	2,3274
9	14,9	29,7	5178,6731	12,075	2,3317
10	14,9	29,8	5196,1097	12,214	2,3506
11	15,1	30,0	5372,3545	12,348	2,2984
12	15,0	30,0	5301,4331	12,288	2,3179
13	15,0	29,9	5283,7617	12,175	2,3042
14	15,0	29,9	5283,7617	12,281	2,3243
15	15,0	29,7	5248,4188	12,212	2,3268
16	14,9	29,9	5213,5464	12,153	2,3310
<b>JUMLAH</b>					<b>37,1873</b>

$$B_{\text{rata-rata}} = \frac{\sum B_i}{n} = 2,3242 \text{ ton m}^3$$

Tabel 6.5 Data berat volume beton K<sub>350</sub> pada umur 28 hari

No	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )
1	15,00	29,50	5213,0759	12,053	2,3121
2	14,90	29,70	5178,6731	12,020	2,3211
3	14,90	30,00	5230,9830	12,225	2,3370
4	15,00	29,60	5230,7474	11,930	2,2807
5	15,00	30,20	5336,7760	12,433	2,3297
6	14,90	29,50	5143,7999	11,961	2,3253
7	14,90	30,10	5248,4196	12,265	2,3369
8	15,00	29,60	5230,7474	12,176	2,3278
9	14,95	29,80	5239,8184	12,256	2,3390
10	14,90	29,80	5196,1097	12,133	2,3350
11	14,90	30,15	5257,1379	12,198	2,3203
12	14,95	30,00	5266,1491	12,176	2,3121
13	14,95	29,95	5257,3722	12,240	2,3282
14	14,95	29,80	5231,1097	12,062	2,3059
15	14,90	29,80	5196,1097	12,085	2,3258
16	14,90	29,80	5196,1097	12,075	2,3239
<b>JUMLAH</b>					<b>37,1607</b>

$$B_{\text{rata-rata}} = \frac{\sum B_j}{n} = 2,3225 \text{ ton/m}^3$$

Tabel 6.6 Data berat volume beton K<sub>400</sub> pada umur 28 hari

No	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )
1	14,90	30,10	5248,4196	11,985	2,2835
2	14,90	30,10	5248,4196	11,960	2,2788
3	15,10	30,00	5372,3545	12,109	2,2539
4	15,00	29,90	5283,7617	11,956	2,2628
5	14,90	29,80	5196,1097	11,888	2,2879
6	14,95	29,90	5248,5953	11,857	2,2591
7	15,20	29,60	5371,1639	11,973	2,2291
8	15,05	30,20	5372,4138	12,135	2,2588
9	15,20	29,90	5425,6013	12,156	2,2405
10	14,90	30,00	5230,9830	11,900	2,2749
11	15,00	29,70	5248,4188	11,891	2,2656
12	14,90	30,20	5265,8562	12,035	2,2855
13	14,90	30,20	5265,8562	11,991	2,2771
14	15,00	30,40	5372,1189	12,107	2,2537
15	15,00	30,10	5319,1046	12,001	2,2652
16	15,05	30,00	5336,8349	11,979	2,2446
<b>JUMLAH</b>					<b>36,2120</b>

$$B_{j\text{rata-rata}} = \frac{\sum B_j}{n} = 2,2632 \text{ ton/m}^3$$

### 6.1.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Hasil penelitian ini diperoleh setelah dilakukan uji tekan beton dengan menggunakan mesin uji tekan merek "Controls" pada benda uji silinder beton.

Tabel 6.7 Data hasil pemeriksaan kuat tekan beton K<sub>300</sub> pada umur 14 hari

No	Diameter (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban Maks. (KN)	Kuat Tekan (fc') (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15,0	176,7144	625	360,65
2	15,0	176,7144	675	389,50
3	15,1	179,0785	690	392,90
4	15,0	176,7144	715	412,58
5	14,9	174,3661	600	350,88
6	15,1	179,0785	630	358,73
7	14,9	174,3661	705	412,29
8	15,1	179,0785	705	401,44
9	14,9	174,3661	610	356,73
10	15,0	176,7144	700	403,92
11	14,9	174,3661	590	345,03
12	14,9	174,3661	665	388,89
13	15,0	176,7144	670	386,61
14	15,0	176,7144	640	369,30
15	14,9	174,3661	685	400,59
16	14,9	174,3661	650	380,12
<b>JUMLAH</b>				<b>6110,16</b>

$$f_{cr} = \frac{6110,16}{16} = 381,89 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel 6.8 Data hasil pemeriksaan kuat tekan beton K<sub>350</sub> pada umur 14 hari

No	Diameter (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban Maks. (KN)	Kuat Tekan (fc') (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15,1	179,0785	675	384,36
2	15,0	176,7144	740	427,00
3	14,9	174,3661	720	421,06
4	15,1	179,0785	720	409,98
5	14,9	174,3661	745	435,68
6	15,0	176,7144	770	444,32
7	14,9	174,3661	665	388,89
8	15,0	176,7144	720	415,46
9	15,0	176,7144	750	432,77
10	15,1	179,0785	735	418,52
11	15,0	176,7144	725	418,35
12	15,0	176,7144	745	429,89
13	15,0	176,7144	645	372,19
14	15,0	176,7144	695	401,04
15	14,9	174,3661	630	368,43
16	15,1	179,0785	765	435,60
<b>JUMLAH</b>				<b>6603,54</b>

$$f_{cr} = \frac{6603,54}{16} = 412,72 \text{ kg cm}^{-2}$$



Tabel 6.9 Data hasil pemeriksaan kuat tekan beton K<sub>400</sub> pada umur 14 hari

No	Diameter (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban Maks. (KN)	Kuat Tekan (fc') (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15.0	176,7144	755	435,66
2	15.2	181,4582	760	427,08
3	15.0	176,7144	770	444,32
4	14.9	174,3661	685	400,59
5	15.0	176,7144	795	458,74
6	15.0	176,7144	710	409,69
7	15.2	181,4582	680	382,12
8	15.0	176,7144	835	481,82
9	15.0	176,7144	860	496,25
10	15.0	176,7144	780	450,09
11	14.9	174,3661	715	418,13
12	15.1	179,0785	780	444,14
13	15.1	179,0785	850	484,00
14	14.8	172,0335	765	453,44
15	15.2	181,4582	710	398,98
16	15.0	176,7144	800	461,63
<b>JUMLAH</b>				<b>7046,68</b>

$$f_{cr} = \frac{7046,68}{16} = 440,42 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel 6.11 Data hasil pemeriksaan kuat desak beton K<sub>350</sub> pada umur 28 hari

No	Diameter (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban Maks. (KN)	Kuat Tekan (fc') (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15,00	176,7144	800	461,63
2	14,90	174,3661	760	444,45
3	14,90	174,3661	820	479,54
4	15,00	176,7144	775	447,20
5	15,00	176,7144	825	476,05
6	14,90	174,3661	700	409,36
7	14,90	174,3661	730	426,91
8	15,00	176,7144	810	467,40
9	14,95	175,5383	785	456,01
10	14,90	174,3661	810	473,69
11	14,90	174,3661	775	453,22
12	14,95	175,5383	790	458,91
13	14,95	175,5383	825	479,24
14	14,95	175,5383	815	473,43
15	14,90	174,3661	750	438,60
16	14,90	174,3661	765	447,38
<b>JUMLAH</b>				<b>7293,02</b>

$$f_{cr} = \frac{7293,02}{16} = 455,81 \text{ kg cm}^2$$

Tabel 6.12 Data hasil pemeriksaan kuat tekan beton K<sub>400</sub> pada umur 28 hari

No	Diameter (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban Maks. (KN)	Kuat Tekan (fc') (kg/cm <sup>2</sup> )
1	14,90	174,3661	820	479,54
2	14,90	174,3661	800	467,84
3	15,10	179,0785	765	435,60
4	15,00	176,7144	745	429,89
5	14,90	174,3661	740	432,75
6	14,95	175,5383	840	487,96
7	15,20	181,4582	830	466,42
8	15,05	177,8945	830	475,76
9	15,20	181,4582	820	460,80
10	14,90	174,3661	790	462,00
11	15,00	176,7144	765	441,43
12	14,90	174,3661	755	441,53
13	14,90	174,3661	825	482,46
14	15,00	176,7144	920	530,87
15	15,00	176,7144	820	473,17
16	15,05	177,8945	775	444,23
			<b>JUMLAH</b>	<b>7412,25</b>

$$f_{cr} = \frac{7412,25}{16} = 463,27 \text{ kg/cm}^2$$

Berdasarkan data hasil pengujian kuat tekan di atas, ternyata ada beberapa data yang menyimpang jauh dari rata-rata kuat tekan yang dicapai pada masing-masing benda uji. Untuk mengurangi turunnya nilai rata-rata kuat tekan dari masing-masing benda uji, maka data yang menyimpang perlu dihilangkan sampai mendapatkan yang sesuai dengan peningkatan nilai kuat tekan dari umur 14 hari ke umur 28 hari.

Hasil kuat tekan yang dicapai setelah data yang menyimpang dihilangkan adalah sebagai berikut :

Tabel 6.13 Data hasil pemeriksaan kuat tekan beton K<sub>300</sub> pada umur 14 hari dengan mengurangi satu sampel yang menyimpang (benda uji No. 11 pada tabel 6.7)

No	Diameter (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban Maks. (KN)	Kuat Tekan (fc') (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15,0	176,7144	625	360,65
2	15,0	176,7144	675	389,50
3	15,1	179,0785	690	392,90
4	15,0	176,7144	715	412,58
5	14,9	174,3661	600	350,88
6	15,1	179,0785	630	358,73
7	14,9	174,3661	705	412,29
8	15,1	179,0785	705	401,44
9	14,9	174,3661	610	356,73
10	15,0	176,7144	700	403,92
11	14,9	174,3661	665	388,89
12	15,0	176,7144	670	386,61
13	15,0	176,7144	640	369,30
14	14,9	174,3661	685	400,59
15	14,9	174,3661	650	380,12
<b>JUMLAH</b>				<b>5765,13</b>

$$f_{cr} = \frac{5765,13}{15} = 384,34 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel 6.14 Data hasil pemeriksaan kuat tekan beton  $K_{350}$  pada umur 14 hari dengan mengurangi satu sampel yang menyimpang (benda uji No. 15 pada tabel 6.8)

No	Diameter (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban Maks. (KN)	Kuat Tekan (fc') (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15,1	179,0785	675	384,36
2	15,0	176,7144	740	427,00
3	14,9	174,3661	720	421,06
4	15,1	179,0785	720	409,98
5	14,9	174,3661	745	435,68
6	15,0	176,7144	770	444,32
7	14,9	174,3661	665	388,89
8	15,0	176,7144	720	415,46
9	15,0	176,7144	750	432,77
10	15,1	179,0785	735	418,52
11	15,0	176,7144	725	418,35
12	15,0	176,7144	745	429,89
13	15,0	176,7144	645	372,19
14	15,0	176,7144	695	401,04
15	15,1	179,0785	765	435,60
<b>JUMLAH</b>				<b>6235,11</b>

$$f_{cr} = \frac{6235,11}{15} = 415,67 \text{ kg cm}^{-2}$$

Tabel 6.15 Data hasil pemeriksaan kuat tekan beton K<sub>400</sub> pada umur 14 hari dengan mengurangi satu sampel yang menyimpang (benda uji No. 7 pada tabel 6.9)

No	Diameter (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban Maks. (KN)	Kuat Tekan (fc') (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15,0	176,7144	755	435,66
2	15,2	181,4582	760	427,08
3	15,0	176,7144	770	444,32
4	14,9	174,3661	685	400,59
5	15,0	176,7144	795	458,74
6	15,0	176,7144	710	409,69
7	15,0	176,7144	835	481,82
8	15,0	176,7144	860	496,25
9	15,0	176,7144	780	450,09
10	14,9	174,3661	715	418,13
11	15,1	179,0785	780	444,14
12	15,1	179,0785	850	484,00
13	14,8	172,0335	765	453,44
14	15,2	181,4582	710	398,98
15	15,0	176,7144	800	461,63
<b>JUMLAH</b>				<b>6664,56</b>

$$f_{cr} = \frac{6664,56}{15} = 444,30 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel 6.16 Data hasil pemeriksaan kuat tekan beton K<sub>300</sub> pada umur 28 hari dengan mengurangi satu sampel yang menyimpang (benda uji No. 7 pada tabel 6.10)

No	Diameter (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban Maks. (KN)	Kuat Tekan (fc') (kg/cm <sup>2</sup> )
1	14.9	174.3661	710	415,21
2	15.0	176.7144	715	412,58
3	14.9	174.3661	710	415,21
4	15.0	176.7144	685	395,27
5	15.0	176.7144	625	360,65
6	15.0	176.7144	680	392,38
7	15.0	176.7144	585	337,56
8	14.9	174.3661	765	447,38
9	14.9	174.3661	785	459,07
10	15.1	179.0785	720	409,98
11	15.0	176.7144	780	450,09
12	15.0	176.7144	795	458,74
13	15.0	176.7144	710	409,69
14	15.0	176.7144	755	435,66
15	14.9	174.3661	795	464,92
<b>JUMLAH</b>				<b>6264,39</b>

$$f_{cr} = \frac{6264,39}{15} = 417,63 \text{ kg cm}^2$$

Tabel 6.17 Data hasil pemeriksaan kuat desak beton  $K_{350}$  pada umur 28 hari dengan mengurangi satu sampel yang menyimpang (benda uji No. 6 pada tabel 6.11)

No	Diameter (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban Maks. (KN)	Kuat Tekan (fc') (kg/cm <sup>2</sup> )
1	15,00	176,7144	800	461,63
2	14,90	174,3661	760	444,45
3	14,90	174,3661	820	479,54
4	15,00	176,7144	775	447,20
5	15,00	176,7144	825	476,05
6	14,90	174,3661	730	426,91
7	15,00	176,7144	810	467,40
8	14,95	175,5383	785	456,01
9	14,90	174,3661	810	473,69
10	14,90	174,3661	775	453,22
11	14,95	175,5383	790	458,91
12	14,95	175,5383	825	479,24
13	14,95	175,5383	815	473,43
14	14,90	174,3661	750	438,60
15	14,90	174,3661	765	447,38
<b>JUMLAH</b>				<b>6883,66</b>

$$f_{cr} = \frac{6883,66}{15} = 458,91 \text{ kg/cm}^2$$



Tabel 6.18 Data hasil pemeriksaan kuat tekan beton K<sub>400</sub> pada umur 28 hari dengan mengurangi satu sampel yang menyimpang (benda uji No. 14 pada tabel 6.12)

No	Diameter (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban Maks. (KN)	Kuat Tekan (fc') (kg/cm <sup>2</sup> )
1	14,90	174,3661	820	479,54
2	14,90	174,3661	800	467,84
3	15,10	179,0785	765	435,60
4	15,00	176,7144	745	429,89
5	14,90	174,3661	740	432,75
6	14,95	175,5383	840	487,96
7	15,20	181,4582	830	466,42
8	15,05	177,8945	830	475,76
9	15,20	181,4582	820	460,80
10	14,90	174,3661	790	462,00
11	15,00	176,7144	765	441,43
12	14,90	174,3661	755	441,53
13	14,90	174,3661	825	482,46
14	15,00	176,7144	820	473,17
15	15,05	177,8945	775	444,23
<b>JUMLAH</b>				<b>6881,38</b>

$$f_{cr} = \frac{6881,38}{15} = 458,76 \text{ kg/cm}^2$$

### 6.1.3 Perhitungan Kuat Tekan Beton yang Disyaratkan

Perhitungan kekuatan tekan beton yang disyaratkan ( $f_c'$ ) dimaksudkan untuk mengetahui mutu beton dan merupakan ukuran dari mutu pelaksanaannya.

Pada perhitungan ini didasarkan pada ketentuan rumus sebagai berikut :

$$f_c' = f_{cr} - 1,64.S$$

Dimana :

$f_c'$  = kuat desak yang disyaratkan,  $\text{kg/cm}^2$

$f_{cr}$  = kuat desak rata-rata,  $\text{kg/cm}^2$

$S$  = deviasi standar

Untuk memenuhi persyaratan di atas perlu dicari deviasi standar dengan rumus sebagai berikut :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (f_c' - f_{cr})^2}{(n - 1)}}$$

Dimana :

$S$  = deviasi standar,  $\text{kg/cm}^2$

$f_c'$  = kuat desak beton dari masing-masing benda uji,  $\text{kg/cm}^2$

$f_{cr}$  = kuat desak beton rata-rata,  $\text{kg/cm}^2$

$$f_{cr} = \frac{\sum f_c'}{n}$$

$n$  = jumlah benda uji

Hasil perhitungan kuat tekan karakteristik beton dengan menggunakan data yang telah terkoreksi yaitu data hasil dari pengurangan sampel yang menyimpang, dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6.19 Perhitungan kuat tekan karakteristik beton K<sub>300</sub> pada umur 14 hari

No	Diameter (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban Maks. (KN)	Kuat Tekan (fc') (kg/cm <sup>2</sup> )	(fc'-fcr) <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>
1	15,0	176,7144	625	360,65	561,22
2	15,0	176,7144	675	389,50	26,63
3	15,1	179,0785	690	392,90	73,27
4	15,0	176,7144	715	412,58	797,50
5	14,9	174,3661	600	350,88	1119,57
6	15,1	179,0785	630	358,73	655,87
7	14,9	174,3661	705	412,29	781,20
8	15,1	179,0785	705	401,44	292,41
9	14,9	174,3661	610	356,73	762,31
10	15,0	176,7144	700	403,92	383,38
11	14,9	174,3661	665	388,89	20,70
12	15,0	176,7144	670	386,61	5,15
13	15,0	176,7144	640	369,30	226,20
14	14,9	174,3661	685	400,59	264,06
15	14,9	174,3661	650	380,12	17,81
<b>JUMLAH</b>				<b>5765,13</b>	<b>6642,88</b>

$$f_{cr} = \frac{\sum fc'}{n} = \frac{5765,13}{15} = 384,34 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (fc' - f_{cr})^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{6642,88}{(15-1)}} = 21,78 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c' = f_{cr} - 1,64.S$$

$$= 384,34 - (1,64 \cdot 21,78)$$

$$= 348,62 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel 6.20 Perhitungan kuat tekan karakteristik beton  $K_{350}$  pada umur 14 hari

No	Diameter (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban Maks. (KN)	Kuat Tekan (fc') (kg/cm <sup>2</sup> )	(fc'-fcr) <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>
1	15,1	179,0785	675	384,36	980,32
2	15,0	176,7144	740	427,00	128,37
3	14,9	174,3661	720	421,06	29,05
4	15,1	179,0785	720	409,98	32,38
5	14,9	174,3661	745	435,68	400,40
6	15,0	176,7144	770	444,32	820,82
7	14,9	174,3661	665	388,89	717,17
8	15,0	176,7144	720	415,46	0,04
9	15,0	176,7144	750	432,77	292,41
10	15,1	179,0785	735	418,52	8,12
11	15,0	176,7144	725	418,35	7,18
12	15,0	176,7144	745	429,89	202,21
13	15,0	176,7144	645	372,19	1890,51
14	15,0	176,7144	695	401,04	214,04
15	15,1	179,0785	765	435,60	397,20
			<b>JUMLAH</b>	<b>6235,11</b>	<b>6120,22</b>

$$f_{cr} = \frac{\sum fc'}{n} = \frac{6235,11}{15} = 415,67 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (fc' - f_{cr})^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{6120,22}{(15-1)}} = 20,91 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{c'} = f_{cr} - 1,64.S$$

$$= 415,67 - (1,64 \cdot 20,91)$$

$$= 381,38 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel 6.21 Perhitungan kuat tekan karakteristik beton  $K_{400}$  pada umur 14 hari

No	Diameter (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban Maks. (KN)	Kuat Tekan (fc') (kg/cm <sup>2</sup> )	(fc'-fcr) <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>
1	15,0	176,7144	755	435,66	74,65
2	15,2	181,4582	760	427,08	296,53
3	15,0	176,7144	770	444,32	0,0004
4	14,9	174,3661	685	400,59	1910,56
5	15,0	176,7144	795	458,74	208,51
6	15,0	176,7144	710	409,69	1197,85
7	15,0	176,7144	835	481,82	1407,75
8	15,0	176,7144	860	496,25	2698,80
9	15,0	176,7144	780	450,09	33,52
10	14,9	174,3661	715	418,13	684,87
11	15,1	179,0785	780	444,14	0,03
12	15,1	179,0785	850	484,00	1576,09
13	14,8	172,0335	765	453,44	83,54
14	15,2	181,4582	710	398,98	2053,90
15	15,0	176,7144	800	461,63	300,33
<b>JUMLAH</b>				<b>6664,56</b>	<b>12526,93</b>

$$f_{cr} = \frac{\sum fc'}{n} = \frac{6664,56}{15} = 444,30 \text{ kg cm}^2$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (fc' - f_{cr})^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{12526,93}{(15-1)}} = 29,91 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{c'} = f_{cr} - 1,64.S$$

$$= 444,30 - (1,64 \cdot 29,91)$$

$$= 392,25 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel 6.22 Perhitungan kuat tekan karakteristik beton  $K_{300}$  pada umur 28 hari

No	Diameter (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban Maks. (KN)	Kuat Tekan (fc') (kg/cm <sup>2</sup> )	(fc'-fcr) <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>
1	14,9	174,3661	710	415,21	5,86
2	15,0	176,7144	715	412,58	25,50
3	14,9	174,3661	710	415,21	5,86
4	15,0	176,7144	685	395,27	499,97
5	15,0	176,7144	625	360,65	3246,72
6	15,0	176,7144	680	392,38	637,56
7	15,0	176,7144	585	337,56	6411,20
8	14,9	174,3661	765	447,38	885,06
9	14,9	174,3661	785	459,07	1717,27
10	15,1	179,0785	720	409,98	58,52
11	15,0	176,7144	780	450,09	1053,65
12	15,0	176,7144	795	458,74	1690,03
13	15,0	176,7144	710	409,69	63,04
14	15,0	176,7144	755	435,66	325,08
15	14,9	174,3661	795	464,92	2236,34
<b>JUMLAH</b>				<b>6264,39</b>	<b>18861,66</b>

$$f_{cr} = \frac{\sum f_{c'}}{n} = \frac{6264,39}{15} = 417,63 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (f_{c'} - f_{cr})^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{18861,66}{(15-1)}} = 36,71 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{c'} = f_{cr} - 1,64.S$$

$$= 417,63 - (1,64 \cdot 36,71)$$

$$= 357,43 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel 6.23 Perhitungan kuat tekan karakteristik beton  $K_{350}$  pada umur 28 hari

No	Diameter (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban Maks. (KN)	Kuat Tekan (fc') (kg/cm <sup>2</sup> )	(fc'-fcr) <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>
1	15,00	176,7144	800	461,63	7,40
2	14,90	174,3661	760	444,45	209,09
3	14,90	174,3661	820	479,54	425,60
4	15,00	176,7144	775	447,20	137,12
5	15,00	176,7144	825	476,05	293,78
6	14,90	174,3661	730	426,91	1024,00
7	15,00	176,7144	810	467,40	72,08
8	14,95	175,5383	785	456,01	8,41
9	14,90	174,3661	810	473,69	218,45
10	14,90	174,3661	775	453,22	32,38
11	14,95	175,5383	790	458,91	0,00
12	14,95	175,5383	825	479,24	413,31
13	14,95	175,5383	815	473,43	210,83
14	14,90	174,3661	750	438,60	412,50
15	14,90	174,3661	765	447,38	132,94
<b>JUMLAH</b>				<b>6883,66</b>	<b>3597,89</b>

$$f_{cr} = \frac{\sum fc'}{n} = \frac{6883,66}{15} = 458,91 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (fc' - f_{cr})^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{3597,89}{(15-1)}} = 16,03 \text{ kg/cm}^2$$

$$fc' = f_{cr} - 1,64.S$$

$$= 458,91 - (1,64 \cdot 16,03)$$

$$= 432,62 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel 6.24 Perhitungan kuat tekan karakteristik beton K<sub>400</sub> pada umur 28 hari

No	Diameter (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban Maks. (KN)	Kuat Tekan (fc') (kg/cm <sup>2</sup> )	(fc'-fcr) <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>
1	14,90	174,3661	820	479,54	431,81
2	14,90	174,3661	800	467,84	82,45
3	15,10	179,0785	765	435,60	536,39
4	15,00	176,7144	745	429,89	833,48
5	14,90	174,3661	740	432,75	676,52
6	14,95	175,5383	840	487,96	852,64
7	15,20	181,4582	830	466,42	58,68
8	15,05	177,8945	830	475,76	289,00
9	15,20	181,4582	820	460,80	4,16
10	14,90	174,3661	790	462,00	10,50
11	15,00	176,7144	765	441,43	300,33
12	14,90	174,3661	755	441,53	296,87
13	14,90	174,3661	825	482,46	561,69
14	15,00	176,7144	820	473,17	207,65
15	15,05	177,8945	775	444,23	211,12
<b>JUMLAH</b>				<b>6881,38</b>	<b>5362,37</b>

$$f_{cr} = \frac{\sum fc'}{n} = \frac{6881,38}{15} = 458,76 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (fc' - f_{cr})^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{5362,37}{(15-1)}} = 19,57 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{c'} = f_{cr} - 1,64.S$$

$$= 458,76 - (1,64 \cdot 19,57)$$

$$= 426,67 \text{ kg/cm}^2$$



## 6.2 Pembahasan

### 6.2.1 Berat Volume Beton

Berat volume beton sangat dipengaruhi oleh berat jenis bahan-bahan penyusunnya, sehingga apabila bahan penyusunnya mempunyai berat jenis yang besar maka beton yang dihasilkan akan mempunyai berat volume yang besar pula, begitu juga sebaliknya.

Berdasarkan hasil penelitian, berat volume rata-rata dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 6.25 Data berat volume beton

No	Mutu Beton (kg/cm <sup>2</sup> )	Umur Beton (Hari)	Berat Volume Beton (t/m <sup>3</sup> )
1	K <sub>300</sub>	14	2,3081
2	K <sub>350</sub>	14	2,3012
3	K <sub>400</sub>	14	2,2903
4	K <sub>300</sub>	28	2,3242
5	K <sub>350</sub>	28	2,3225
6	K <sub>400</sub>	28	2,2632
<b>Σ Berat Volume Beton</b>			<b>13,8095</b>

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa berat volume beton dengan agregat limbah bongkaran beton rata-rata :

$$\text{Berat Volume Beton}_{\text{rata-rata}} = \frac{13,8095}{6} = 2,3016 \text{ t/m}^3.$$

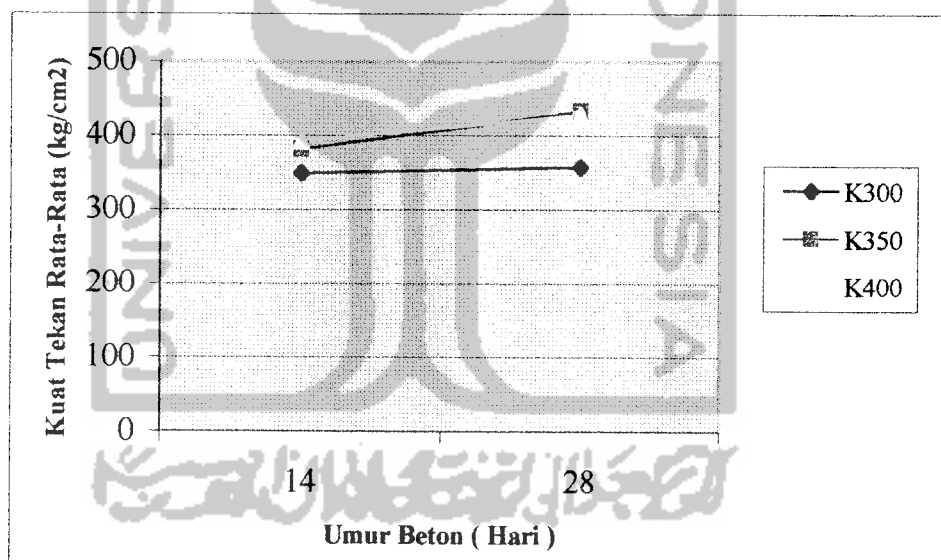
### 6.2.2 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh komposisi dan kekuatan dari masing-masing bahan susun, serta lekatan pasta semen pada semua agregat. Dalam penelitian ini, kuat tekan yang dihasilkan oleh beton dengan agregat kasar menggunakan limbah bongkaran beton dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 6.26 Hasil kuat tekan beton karakteristik

No	Mutu Beton Rencana	Umur Beton (Hari)	Kuat Tekan Beton Karakteristik
1	K <sub>300</sub>	14	348,62
2	K <sub>350</sub>	14	381,38
3	K <sub>400</sub>	14	392,25
4	K <sub>300</sub>	28	357,43
5	K <sub>350</sub>	28	432,62
6	K <sub>400</sub>	28	426,67

Grafik di bawah ini menunjukkan perbedaan nilai kuat tekan beton dari umur rendaman 14 hari sampai umur rendaman 28 hari untuk seluruh benda uji.

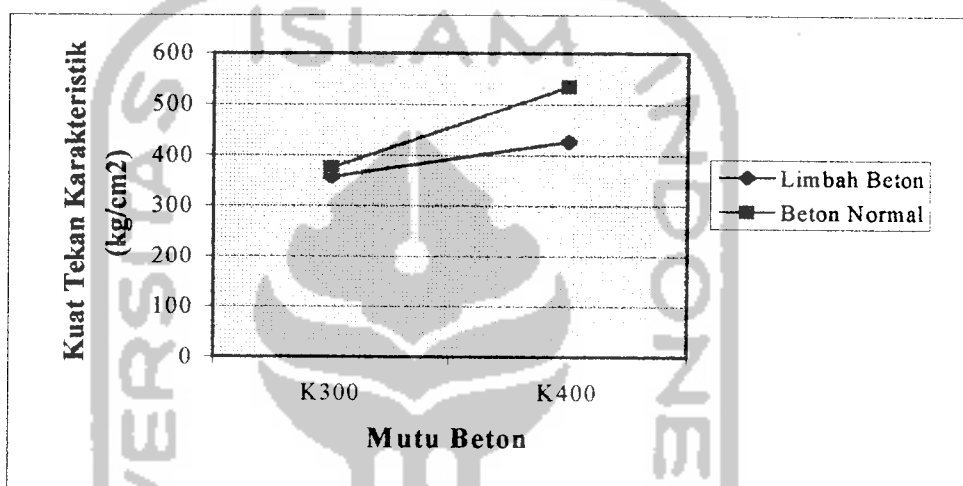


Gambar 6.1 Grafik peningkatan kuat tekan beton berdasarkan umur rendaman untuk seluruh benda uji

Hasil perhitungan kuat tekan karakteristik beton dan normalisasi standar beton yang menunjukkan perbedaan antara yang menggunakan limbah bongkaran beton dan agregat alam dicantumkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 6.27 Kuat tekan karakteristik beton antara limbah bongkaran beton dengan agregat alam pada umur 28 hari

Mutu Karakteristik Beton	Agregat Kasar		Selisih Kuat Tekan (%)
	Limbah Beton (kg/cm <sup>2</sup> )	Batu Pecah (kg/cm <sup>2</sup> )	
K <sub>300</sub>	357,43	374,85	4,65
K <sub>400</sub>	426,67	534,28	20,14



Keterangan : Beton normal mengacu pada penelitian Edwin Yulistyoputro dan Muhammad Taufiqullah (K<sub>300</sub>) dan PT. Jaya Readymix (K<sub>400</sub>)

Gambar 6.2 Grafik perbandingan kuat tekan beton yang menggunakan limbah bongkaran beton dengan agregat alam

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa penggunaan agregat kasar limbah bongkaran beton dapat mempengaruhi kekuatan beton jika dibanding yang menggunakan agregat yang berasal dari alam.

Beton yang menggunakan agregat alam dan yang menggunakan agregat kasar limbah bongkaran beton dengan membandingkan mutu beton K<sub>300</sub> kuat tekan yang terjadi lebih kecil 4,65 %, sedangkan mutu beton K<sub>400</sub> kuat tekan yang terjadi lebih kecil 20,14 %.

Hal ini menjelaskan bahwa kuat tekan beton yang terjadi lebih kecil disebabkan antara lain :

1. Gradasi butiran halus dari masing-masing sumber agregat halus.

Gradasi butiran halus pada tinjauan referensi yang dibandingkan dengan gradasi yang digunakan pada penelitian ini berada pada gradasi daerah 2, dapat dilihat pada tabel 2.1 dan gambar 2.1 yang berasal dari Kali Krasak, tabel 2.3 dan gambar 2.2 yang berasal dari Kali Progo, serta tabel 5.8 dan gambar 5.1 yang berasal dari Kali Boyong, menunjukkan bahwa semakin kecil Modulus Halus Butir (MHB) maka semakin halus pasirnya atau sebaliknya. Hal tersebut menjadi ukuran untuk mencari nilai perbandingan berat antara pasir dan agregat kasar.

Modulus Halus Butir pasir yang kecil akan membutuhkan agregat kasar yang banyak, hal tersebut menyebabkan terjadinya rongga-rongga antar butiran yang harus diisi untuk mendapatkan adukan yang pampat dan rapat. Apabila pengisian rongga-rongga oleh agregat halus kurang maka akan menyebabkan berkurangnya kepadatan dari beton, sehingga kuat tekan betonnya juga akan turun.

2. Penyerapan air dari agregat kasar limbah bongkaran beton.

Penyerapan air oleh agregat kasar limbah bongkaran beton lebih besar dari yang disyaratkan menyebabkan berkurangnya air dalam adukan. Hal ini bisa menyulitkan dalam pengerjaan, karena dengan jumlah air yang berkurang akan mengakibatkan adukan menjadi kurang plastis (slump terlalu kecil), sedangkan bila jumlah diperbesar maka kualitas atau kuat tekan beton akan menurun.

### **6.2.3 Aplikasi**

Penggunaan agregat kasar limbah bongkaran beton dan pasir yang berasal dari alam pada campuran adukan beton telah diuji dan memenuhi syarat dalam perencanaan perkerasan beton semen.

Berikut ini hasil penelitian agregat berdasarkan spesifikasi persyaratan agregat untuk perkerasan beton semen.

Tabel 6.28 Hasil penelitian sesuai dengan spesifikasi persyaratan pemeriksaan agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Persyaratan		Hasil Penelitian		Cara Pemeriksaan Sesuai
		Agregat Kasar	Agregat Halus	Agregat Kasar	Agregat Halus	
1	Keausan agregat (mesin Los Angeles)	$\leq 45,0 \%$	-	37,7 %	-	PB-0206-76
2	Penyerapan air	$\leq 2,0 \%$	$\leq 5,0 \%$	3,977 %	1,215 %	PB-0202-76
3	Berat jenis	$\geq 2,5 \%$	$\leq 2,5 \%$	2,367 %	2,75 %	PB-0203-76
4	Berat volume agregat	$\geq 1,2 \text{ kg/l}$	-	1,355 kg/l	-	PB-0204-76

Dengan bahan agregat tersebut di atas, dibuat beton mutu tinggi yaitu dengan mutu beton rencana  $K_{300}$ ,  $K_{350}$  dan  $K_{400}$  (Rudy Mathias, 1990).

Beton yang menggunakan agregat kasar limbah bongkaran telah diuji kuat tekan dan hasilnya melebihi dari kuat tekan beton rencana (tabel 6.26), berarti beton tersebut memenuhi syarat untuk digunakan dalam perkerasan beton semen.