

BAB V

HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

5.1 Hasil Pengamatan Pelaksanaan Pencampuran di Lapangan

Setelah dilakukan pengamatan di lapangan, maka dapat diketahui tahap-tahap pelaksanaan produksi beton. Tahapan pelaksanaan pencampuran di lapangan adalah sebagai berikut ini.

1. Seleksi material

Seleksi material di lapangan terhadap kerikil dan pasir dilakukan dari kenampakkan fisik material yang dikirim dari *supplier*. Material di lapangan terutama kerikil kurang bersih dan tercampur dengan batu kapur. Penyiraman dilaksanakan untuk mengurangi kandungan lumpur, dan batu kapur sedapat mungkin dihilangkan dari campuran.

2. *Batching* dan *mixing*

Batching dilakukan dengan menggunakan ember yang telah ditandai untuk memudahkan bagi para pekerja menakar komposisi campuran. Setelah semua bahan penyusun ditakar kemudian dimasukkan ke dalam *mixer* dengan urutan :

- a. dimasukkan air pencampur 50 %,
- b. *superplasticizer* 50%,
- c. kerikil 50%,
- d. *silica fume* 100%,

- e. diaduk sampai tercampur,
- f. semen 100%,
- g. dimasukkan air dan *superplasticizer* yang tersisa,
- h. diaduk sampai terlihat semen, air, *silica fume* dan *superplsticizer* tercampur,
- i. dimasukkan kerikil 50% dan pasir 100%,
- j. diaduk sampai semua bahan tercampur.

Setelah proses *mixing* adukan beton dari *mixer* dituang ke dalam bak penampung adukan. Selama proses pencampuran dapat terjadi penambahan atau pengurangan jumlah air campuran, pada kondisi normal dengan cuaca yang tidak terlalu panas, pemberian air pencampur sesuai dengan *mix design* akan memberikan nilai slump berkisar pada 13-14 cm. Jika pada kondisi ini dilakukan penyiraman terhadap kerikil untuk mengurangi kandungan lumpur, maka nilai slump akan meningkat menjadi 14-15 cm.

Pada awal pengecoran yaitu bagian bawah kubah, dengan posisi pengecoran hampir vertikal dan tulangan tidak terlalu rapat digunakan nilai slump antara 13 –16 cm. Nilai slump campuran harus dijaga tetap pada batasan tersebut agar tidak mengganggu workabilitas pengecoran. Pada kondisi cuaca sangat panas dilakukan penambahan air pencampur untuk meningkatkan nilai slump. Penambahan air sekitar 1–2 liter per adukan untuk mencapai slump pada saat pencampuran 16-18 cm dengan kondisi kerikil yang dicuci. Kandungan air material pasir dan kerikil akan bertambah pada kondisi hujan, sehingga dilakukan pengurangan jumlah air pencampur sekitar 0,5–1,5 liter per adukan.

Pada bagian tengah atas kubah, posisi pengecoran cenderung melengkung dan penulangan semakin rapat. Kondisi tersebut membutuhkan nilai slump sekitar 16–19 cm agar campuran beton dapat mengisi antar tulangan dan acuan. Untuk menjaga nilai slump tersebut dilakukan penambahan air pada kondisi cuaca kering sekitar 1-2,5 liter dan pengurangan air pencampur sekitar 1,0 liter pada waktu hujan.

3. Pengangkutan dan pengecoran

Adukan beton dari bak penampung dimasukkan ke dalam ember. Ember berisi adukan beton kemudian diangkat menggunakan *lift* menuju ke lantai atap masjid, dan ditempatkan pada gerobak dorong untuk dibawa ke tempat pengecoran. Di tempat pengecoran ember tersebut dibawa ke atas dengan tenaga manusia untuk dituang ke dalam acuan kubah.

Sebelum adukan beton dituang, pada permukaan pengecoran yang lama dilapisi dengan *bounding agent* merk Sikabound. Pematatan dilakukan dengan menggunakan pemadat mekanis (*vibrator*) sampai semua rongga tulangan terisi.

4. Rawatan

Satu minggu setelah pengecoran, acuan sebelah luar sudah dapat dibuka. Untuk menutup permukaan beton yang keropos digunakan bahan *aditive* Sikatop 122 yang terdiri dua komposisi A dan B dengan perbandingan campuran untuk penggunaan adalah 1: 6,3. Bahan ini dipoleskan pada bagian yang kasar atau keropos seperti melakukan pekerjaan plesteran biasa. Sebelumnya permukaan beton harus bersih dari debu, lapisan kerak semen, karat dan minyak, kemudian permukaan beton dibasahi dengan air secara merata. Pencampuran komponen A dengan komponen B dilakukan sedikit demi sedikit dan penggunaannya tidak boleh ditambah dengan

bahan lain seperti semen atau air. Tebal setiap lapisan maksimal 20 mm, dan dianjurkan tidak melakukan perataan yang berlebihan. Setelah mengeras bahan ini memiliki kekuatan yang besar daripada beton. Permukaan beton yang kasar dan tidak rata digerenda, dengan tujuan untuk memperhalus dan meratakan permukaan beton.

5.2 Hasil dan Analisis Pengujian

5.2.1 Pengujian kuat tekan beton

Data yang diperoleh dari pengujian kuat tekan yaitu tinggi, berat, dan diameter silinder beton serta beban tekan maksimum yang dapat ditahan. Berdasarkan data tersebut dihitung berat satuan beton dan kuat tekan beton menggunakan persamaan 3.1, 3.2 dan 3.3. Selanjutnya dihitung kuat tekan rata-rata dan berat satuan beton rata-rata menggunakan persamaan 3.4 dan 3.5.

Hasil dan analisis pengujian awal kuat tekan terhadap benda uji yang dibuat dan dirawat dengan standar laboratorium ditunjukkan pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil dan analisis pengujian awal kuat tekan

No	Diameter mm	Tinggi mm	Luas mm ²	Berat Kg	Berat satuan t/m ³	Beban maks KN	Kuat desak Mpa
1	150,65	300,90	17815,907	13,220	2,466	890	49,955
2	150,15	300,25	17697,843	13,045	2,455	790	44,638
3	152,30	299,50	18208,303	13,140	2,410	1030	56,568
4	150,75	300,00	17839,567	13,013	2,431	1025	57,457
5	149,85	301,75	17627,193	12,964	2,437	935	53,043
6	151,50	301,80	18017,516	13,172	2,422	920	51,061
7	150,20	301,75	17709,631	13,113	2,454	1015	57,313
8	149,80	299,75	17615,431	12,879	2,439	1020	57,904
9	150,00	300,85	17662,500	13,037	2,454	1025	58,033
Rata-rata						961,111	53,997

Tabel 5.1 memberikan hasil kuat tekan rata-rata yang dicapai dari pengujian adalah 53,997 MPa. Menurut peraturan ACI 318-95 sub bab 5.3.2.2, jika jumlah sampel pengujian kurang dari 15 untuk f_c' spesifikasi lebih dari 35 MPa (f_c' spesifikasi pada penelitian adalah 40 MPa), maka f_c' dari hasil pengujian awal di atas adalah $f_c' = f_c'r - 10$ MPa, berarti $f_c' = 53,997 - 10 = 43,997$ MPa.

ACI 318-95 sub bab 5.6.3.4 menyebutkan bahwa hasil uji kuat tekan benda uji beton yang dibuat dan dirawat di lapangan tidak boleh kurang dari 0,85 kuat tekan hasil pengujian daripada benda uji yang dibuat dan dirawat dengan standar laboratorium. Dari analisis pada tabel 5.1 di atas, maka 0,85 f_c' hasil uji standar laboratorium adalah $0,85 \times 43,977 = 37,381$ Mpa.

Analisis data hasil pengujian kuat tekan beton terhadap benda uji yang diambil selama pelaksanaan di lapangan, secara keseluruhan ditampilkan pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil dan analisis pengujian kuat tekan benda uji beton yang diproduksi di lapangan

No	Dibuat Tgl	Umur Hari	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas (mm ²)	Berat (kg)	P (kn)	w (kg/m ³)	f_c' (Mpa)
1	12-Feb	34	149,28	301,8	17502,22	12,684	805	2402,878	45,9942
2	12-Feb	34	150,13	303,1	17702,1	12,7	845	2366,971	47,7344
3	12-Feb	34	152,27	304,9	18210,36	12,944	865	2331,27	47,5004
4	12-Feb	34	151,2	303,7	17955,33	12,776	835	2342,916	46,5043
5	12-Feb	34	148,83	301,4	17396,86	12,647	815	2411,978	46,8475
6	12-Feb	34	150,2	302,45	17718,61	12,769	810	2382,723	45,7146
7	14-Feb	32	150,9	300,6	17884,15	12,747	920	2371,104	51,4422
8	14-Feb	32	150,6	302,9	17813,11	12,831	845	2378,052	47,437
9	14-Feb	32	150,55	298,7	17801,29	12,315	780	2316,049	43,8171
10	14-Feb	32	150,75	295,9	17848,62	12,263	1010	2321,92	56,587
11	15-Feb	31	149,83	303,4	17631,43	12,639	795	2362,706	45,0899
12	15-Feb	31	150,78	305,25	17855,72	12,858	760	2359,068	42,5634
13	15-Feb	31	150,55	305,4	17801,29	12,746	865	2344,518	48,592
14	15-Feb	31	150,53	305,45	17796,56	12,699	890	2336,111	50,0097

Lanjutan tabel 5.2

No	Dibuat Tgl	Umur Hari	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas (mm ²)	Berat (kg)	P (kn)	w (kg/m ³)	fc'i (Mpa)
15	15-Feb	31	150,35	300,95	17754,02	12,797	890	2395,064	50,1295
16	15-Feb	31	150,5	301,4	17789,46	12,817	870	2390,453	48,9053
17	17-Feb	29	149,88	299,55	17643,2	12,638	880	2391,287	49,8776
18	17-Feb	29	149,43	300,35	17537,41	12,699	835	2410,885	47,6125
19	17-Feb	29	149,63	300,7	17584,39	12,746	700	2410,534	39,808
20	17-Feb	29	149,9	302,5	17647,9	12,578	825	2356,096	46,7478
21	18-Feb	28	150,3	299,9	17742,22	12,796	975	2404,861	54,9537
22	18-Feb	28	149,68	300,3	17596,14	12,739	955	2410,808	54,2733
23	18-Feb	28	150,25	300,55	17730,41	12,653	860	2374,422	48,5042
24	18-Feb	28	149,25	300,5	17495,19	12,563	835	2389,628	47,7274
25	18-Feb	28	149,93	301,01	17654,97	12,678	940	2385,629	53,2428
26	18-Feb	28	150	299,95	17671,46	12,686	915	2393,335	51,7784
27	19-Feb	28	150,25	301,35	17730,41	12,817	665	2398,813	37,5062
28	19-Feb	28	149,47	300,65	17546,8	12,689	760	2405,294	43,3127
29	19-Feb	28	149,68	300	17596,14	12,659	840	2398,064	47,7377
30	19-Feb	28	149,33	299,85	17513,95	12,6	845	2399,289	48,2473
31	19-Feb	28	149,2	300,25	17483,47	12,612	855	2402,555	48,9033
32	19-Feb	28	149,9	300,65	17647,9	12,696	870	2392,834	49,2976
33	21-Feb	28	149,6	300	17577,34	12,627	795	2394,561	45,2287
34	21-Feb	28	150,25	299,85	17730,41	12,605	790	2370,937	44,5562
35	21-Feb	28	150,53	299,6	17796,56	12,728	945	2387,165	53,1002
36	21-Feb	28	149,33	300,1	17513,95	12,599	780	2397,1	44,5359
37	21-Feb	28	149,53	299,1	17560,89	12,437	745	2367,842	42,4238
38	21-Feb	28	149,6	300,5	17577,34	12,482	845	2363,125	48,0733
39	22-Feb	28	150,25	299,6	17730,41	12,352	660	2325,287	37,2242
40	22-Feb	28	149,4	300,2	17530,37	12,312	695	2339,52	39,6455
41	22-Feb	28	149,8	300,35	17624,37	12,514	795	2364,041	45,108
42	22-Feb	28	150,4	299,8	17765,83	12,61	755	2367,543	42,4973
43	22-Feb	28	149,35	300	17518,64	12,447	890	2368,335	50,803
44	22-Feb	28	150,75	299	17848,62	12,549	910	2351,437	50,9843
45	24-Feb	28	150,28	299,45	17737,49	12,775	855	2405,162	48,203
46	24-Feb	28	149,38	301,3	17525,68	12,808	800	2425,534	45,6473
47	24-Feb	28	150,18	299,6	17713,9	12,638	940	2381,346	53,0657
48	24-Feb	28	149,25	299,45	17495,19	12,561	930	2397,625	53,1575
49	24-Feb	28	149,9	298,2	17647,9	12,63	1010	2399,952	57,2306
50	24-Feb	28	149,23	299,85	17490,5	12,633	1060	2408,797	60,6043
51	25-Feb	31	149,2	300	17483,47	12,583	852	2399,029	48,7318
52	25-Feb	31	149,23	300,6	17490,5	12,588	851	2394,229	48,655
53	25-Feb	31	150,5	301	17789,46	12,638	880	2360,201	49,4675
54	25-Feb	31	149,23	302,45	17490,5	12,586	800	2379,206	45,7391
55	25-Feb	28	150,5	300	17789,46	12,581	860	2357,388	48,3432

Lanjutan tabel 5.2

No	Dibuat	Umur	Diameter	Tinggi	Luas	Berat	P	w	fc'i
	Tgl	Hari	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kg)	(kn)	(kg/m ³)	(Mpa)
56	25-Feb	28	149,28	299,9	17502,22	12,528	920	2386,779	52,5648
57	27-Feb	29	149,23	299,85	17490,5	12,612	589	2404,793	33,6754
58	27-Feb	29	149,4	300,85	17530,37	12,594	830	2387,936	47,3464
59	27-Feb	29	150	299,15	17671,46	12,608	807	2384,98	45,6669
60	27-Feb	29	149,83	299,65	17631,43	12,526	667	2370,886	37,8302
61	27-Feb	27	148,68	300	17361,81	12,561	825	2411,615	47,5181
62	27-Feb	27	149,65	299,7	17589,09	12,737	830	2416,223	47,1883
63	28-Feb	28	149,33	300,65	17513,95	12,535	841	2380,56	48,0189
64	28-Feb	28	150,95	299,65	17896,01	12,587	885	2347,209	49,4524
65	28-Feb	28	149,63	300	17584,39	12,498	709	2369,147	40,3199
66	28-Feb	28	150,2	298,85	17718,61	12,506	796	2361,758	44,9245
67	28-Feb	28	149,6	297,3	17577,34	12,421	830	2376,887	47,2199
68	28-Feb	28	149,28	297,65	17502,22	12,377	835	2375,836	47,7082
69	29-Feb	27	149,28	299,85	17502,22	12,469	739	2375,934	42,2232
70	29-Feb	27	149,83	299,65	17631,43	12,5	812	2365,965	46,0541
71	29-Feb	27	150,8	299,45	17860,46	12,382	762	2315,122	42,6641
72	29-Feb	27	149,08	299,15	17455,35	12,375	745	2369,887	42,6803
73	29-Feb	28	150,15	297,3	17706,82	12,428	835	2360,836	47,157
74	29-Feb	28	149,65	298,3	17589,09	12,374	845	2358,379	48,0411
75	1-Mar	26	149,18	299,55	17478,78	12,345	717	2357,82	41,0212
76	1-Mar	26	150	299,85	17671,46	12,461	706	2351,67	39,9514
77	1-Mar	26	150,1	300	17695,03	12,58	806	2369,78	45,5495
78	1-Mar	26	148,98	299,65	17431,94	12,488	831	2390,742	47,6711
79	1-Mar	28	149,25	300	17495,19	12,362	690	2355,315	39,4394
80	1-Mar	28	149,68	300,7	17596,14	12,421	710	2347,501	40,3498
81	2-Mar	28	149,5	300,35	17553,85	12,527	840	2376,004	47,8528
82	2-Mar	28	150,23	299,7	17725,69	12,552	860	2362,778	48,5171
83	2-Mar	28	149,58	300,9	17572,64	12,562	760	2375,744	43,2491
84	2-Mar	28	149,35	300,25	17518,64	12,517	750	2379,671	42,8115
85	3-Mar	28	150,13	300,9	17702,1	12,58	860	2361,748	48,5818
86	3-Mar	28	149,13	300,9	17467,06	12,562	855	2390,103	48,9493
87	3-Mar	28	152,3	299,85	18217,54	12,614	875	2309,187	48,0306
88	3-Mar	28	149,85	302	17636,13	12,603	915	2366,266	51,8821
89	3-Mar	28	149,43	298,6	17537,41	12,438	875	2375,173	49,8933
90	3-Mar	28	149,45	299	17542,11	12,333	795	2351,342	45,3195
91	4-Mar	28	149,35	299,75	17518,64	12,247	715	2332,224	40,8137
92	4-Mar	28	149,68	300	17596,14	12,44	795	2356,577	45,1804
93	4-Mar	28	148,7	302,7	17366,48	12,481	730	2374,243	42,035
94	4-Mar	28	149,68	301,3	17596,14	12,576	800	2372,062	45,4645
95	6-Mar	28	149,73	300,2	17607,9	12,437	835	2352,867	47,4219
96	6-Mar	28	150,4	301	17765,83	12,397	845	2318,273	47,5632

Lanjutan tabel 5.2

No	Dibuat Tgl	Umur Hari	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas (mm ²)	Berat (kg)	P (kn)	w (kg/m ³)	fc'i (Mpa)
97	6-Mar	28	149,55	300,1	17565,59	12,527	675	2376,394	38,4274
98	6-Mar	28	149,93	300,9	17654,97	12,642	660	2379,724	37,3832
99	6-Mar	28	149,23	300,25	17490,5	12,4	825	2361,22	47,1685
100	6-Mar	28	149,6	299,65	17577,34	12,433	755	2360,525	42,953
Rata-rata			149,8484	300,4011			821,8	2373,692	46,59159

Tabel 5.2 dihitung nilai standar deviasi dan koefisien variasi menggunakan persamaan 3.8 dan 3.9, perhitungan selengkapnya dapat dilihat dalam lampiran 4. Nilai standar deviasi yang didapatkan adalah 4,61230 MPa dengan koefisien variasi 9,8994 %. Setelah nilai standar deviasi diperoleh, didapat kuat tekan beton dari hasil pengujian terhadap benda uji yang dibuat di lapangan dapat dihitung menggunakan persamaan 3.6 sebagai berikut :

$$fc' = fc'r - 1,64sd = 46,59159 - 1,64(4,6123) = 39,02742 \text{ MPa,}$$

dan menggunakan persamaan 3.7 menurut ACI 318-95 sub bab 5.3.2 sebagai berikut :

$$fc' = fc'r - 1,34sd = 46,59159 - 1,34(4,6123) = 40,41111 \text{ MPa.}$$

Evaluasi pencapaian mutu juga dilakukan terhadap hasil uji kuat tekan secara individual, untuk benda uji yang diambil di lapangan. Menurut ACI 318-95 sub bab 5.6.2.3, hasil uji harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. setiap rata-rata dari tiga pasang hasil pengujian (setiap pasang hasil pengujian adalah rata-rata dua silinder) berturut-turut lebih dari atau sama dengan nilai fc' spesifikasi yaitu 40 Mpa,

2. tidak satupun dari rata-rata dua silinder kurang dari kuat tekan syarat minimal yaitu 3,5 MPa dari f_c' spesifikasi, berarti f_c' syarat minimal = $40 - 3,5 = 36,5$ MPa.

Hasil uji kuat tekan beton yang diproduksi di lapangan menurut SK-SNI dinyatakan memenuhi syarat jika :

1. Nilai rata-rata dari 4 pasangan hasil uji (setiap pasangan hasil uji adalah rata-rata dari dua silinder) tidak kurang dari $f_c' + 0,82sd$, berarti $40 + 0,82(4,6123) = 43,782$ MPa.
2. Tidak satu pun dari rata-rata dua silinder kurang dari $0,85f_c'$, berarti $0,85 \times 40 = 34$ MPa.

Untuk melakukan evaluasi hasil uji kuat tekan secara individual menurut ACI 318-95 dan SK-SNI persyaratan kedua, pada tabel 5.3 ditunjukkan perhitungan rata-rata dua silinder.

Tabel 5.3 Perhitungan kuat tekan rata-rata dua silinder

No	Dibuat Tgl	Umur Hari	Kuat tekan, f_c' (MPa)		Kuat tekan Rerata silinder (MPa)
			Silinder I	Silinder II	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	12-Feb	34	45,9941658	47,7344429	46,8643043
2	12-Feb	34	47,5004288	46,5042893	47,0023591
3	12-Feb	34	46,8475371	45,7146366	46,2810869
4	14-Feb	32	51,442192	47,4369638	49,4395779
5	14-Feb	32	43,8170567	56,5870235	50,2020401
6	15-Feb	31	45,0899432	42,5633922	43,8266677
7	15-Feb	31	48,5919924	50,0096715	49,3008319
8	15-Feb	31	50,129487	48,90535	49,5174185
9	17-Feb	29	49,8775855	47,6125017	48,7450436
10	17-Feb	29	39,8080411	46,7477595	43,2779003
11	18-Feb	28	54,9536791	54,273264	54,6134716

Lanjutan tabel 5.3.

No	Dibuat Tgl	Umur Hari	Kuat tekan, f_c' (MPa)		Kuat tekan Rerata 2 silinder (MPa)
			Silinder I	Silinder II	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
12	18-Feb	28	48,5042293	47,7274152	48,1158222
13	18-Feb	28	53,2428004	51,7784081	52,5106043
14	19-Feb	28	37,5061773	43,3127383	40,4094578
15	19-Feb	28	47,7377401	48,2472648	47,9925024
16	19-Feb	28	48,9033474	49,2976373	49,1004924
17	21-Feb	28	45,2286953	44,5562107	44,892453
18	21-Feb	28	53,1001568	44,5359367	48,8180468
19	21-Feb	28	42,4238154	48,0732674	45,2485414
20	22-Feb	28	37,224176	39,6454844	38,4348302
21	22-Feb	28	45,1080051	42,4973058	43,8026554
22	22-Feb	28	50,8030366	50,9843479	50,8936922
23	24-Feb	28	48,202977	45,6473106	46,9251438
24	24-Feb	28	53,0656847	53,1574804	53,1115825
25	24-Feb	28	57,2305905	60,6043372	58,9174638
26	25-Feb	31	48,7317567	48,6549915	48,6933741
27	25-Feb	31	49,4674805	45,7391224	47,6033014
28	25-Feb	28	48,3432195	52,5647609	50,4539902
29	27-Feb	29	33,6754289	47,3464058	40,5109173
30	27-Feb	29	45,6668583	37,8301788	41,7485185
31	27-Feb	27	47,5180885	47,1883475	47,353218
32	28-Feb	28	48,0188753	49,4523751	48,7356252
33	28-Feb	28	40,3198587	44,9245071	42,6221829
34	28-Feb	28	47,2198957	47,7082341	47,4640649
35	29-Feb	27	42,2232155	46,0541307	44,1386731
36	29-Feb	27	42,6640821	42,6803157	42,6721989
37	29-Feb	28	47,1569731	48,0411489	47,599061
38	1-Mar	26	41,0211724	39,9514275	40,4862999
39	1-Mar	26	45,549517	47,6711032	46,6103101
40	1-Mar	28	39,4394209	40,3497565	39,8945887
41	2-Mar	28	47,8527631	48,5171448	48,1849539
42	2-Mar	28	43,249058	42,8115477	43,0303029
43	3-Mar	28	48,5817999	48,9492675	48,7655337
44	3-Mar	28	48,030639	51,8821205	49,9563798
45	3-Mar	28	49,8933401	45,3195312	47,6064356
46	4-Mar	28	40,8136754	45,1803612	42,9970183
47	4-Mar	28	42,034999	45,4645144	43,7497567
48	6-Mar	28	47,4218994	47,5632098	47,4925546
49	6-Mar	28	38,4274049	37,3832429	37,9053239
50	6-Mar	28	47,16847	42,9530377	45,0607538

Perhitungan evaluasi hasil uji kuat tekan menurut persyaratan pertama dari ACI 318-95 yaitu dengan menggunakan rerata tiga hasil uji ditampilkan pada tabel 5.4, dan SK-SNI dengan menggunakan rerata 4 hasil uji ditampilkan pada tabel 5.5.

Tabel 5.4 Perhitungan kuat tekan rerata 3 pasang hasil uji

No	Dibuat Tgl	Umur Hari	Kuat tekan Rerata 2 silinder (MPa)	Rerata dari 3 pasang hasil uji (MPa)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	12-Feb	34	46,8643043	
	12-Feb	34	47,0023591	
1	12-Feb	34	46,2810869	46,71591676
2	14-Feb	32	49,4395779	47,57434128
3	14-Feb	32	50,2020401	48,64090163
4	15-Feb	31	43,8266677	47,8227619
5	15-Feb	31	49,3008319	47,77651325
6	15-Feb	31	49,5174185	47,54830605
7	17-Feb	29	48,7450436	49,18776468
8	17-Feb	29	43,2779003	47,1801208
9	18-Feb	28	54,6134716	48,87880515
10	18-Feb	28	48,1158222	48,6690647
11	18-Feb	28	52,5106043	51,7466327
12	19-Feb	28	40,4094578	47,01196146
13	19-Feb	28	47,9925024	46,97085485
14	19-Feb	28	49,1004924	45,83415087
15	21-Feb	28	44,892453	47,32848259
16	21-Feb	28	48,8180468	47,60366404
17	21-Feb	28	45,2485414	46,31968038
18	22-Feb	28	38,4348302	44,16713945
19	22-Feb	28	43,8026554	42,49534233
20	22-Feb	28	50,8936922	44,37705928
21	24-Feb	28	46,9251438	47,20716381
22	24-Feb	28	53,1115825	50,31013952
23	24-Feb	28	58,9174638	52,98473005
24	25-Feb	31	48,6933741	53,57414014
25	25-Feb	31	47,6033014	51,73804644
26	25-Feb	28	50,4539902	48,91688857
27	27-Feb	29	40,5109173	46,18940299
28	27-Feb	29	41,7485185	44,2378087
29	27-Feb	27	47,353218	43,20421796

No	Dibuat Tgl	Umur Hari	Kuat tekan Rerata 2 silinder (MPa)	Rerata dari 3 pasang hasil uji (MPa)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
30	28-Feb	28	48,7356252	45,94578725
31	28-Feb	28	42,6221829	46,23700871
32	28-Feb	28	47,4640649	46,27395768
33	29-Feb	27	44,1386731	44,74164031
34	29-Feb	27	42,6721989	44,75831231
35	29-Feb	28	47,599061	44,80331101
36	1-Mar	26	40,4862999	43,58585329
37	1-Mar	26	46,6103101	44,89855702
38	1-Mar	28	39,8945887	42,33039958
39	2-Mar	28	48,1849539	44,89661758
40	2-Mar	28	43,0303029	43,70328184
41	3-Mar	28	48,7655337	46,6602635
42	3-Mar	28	49,9563798	47,25073878
43	3-Mar	28	47,6064356	48,77611637
44	4-Mar	28	42,9970183	46,8532779
45	4-Mar	28	43,7497567	44,78440355
46	6-Mar	28	47,4925546	44,74644319
47	6-Mar	28	37,9053239	43,04921173
48	6-Mar	28	45,0607538	43,48621077

Tabel 5.5 Perhitungan kuat tekan rerata 4 pasang hasil uji

No	Dibuat Tgl	Umur Hari	Kuat tekan Rerata 2 silinder (MPa)	Rerata dari 4 pasang hasil Uji (MPa)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	12-Feb	34	46,8643043	
	12-Feb	34	47,0023591	
	12-Feb	34	46,2810869	
1	14-Feb	32	49,4395779	47,39683204
2	14-Feb	32	50,2020401	48,23126599
3	15-Feb	31	43,8266677	47,43734315
4	15-Feb	31	49,3008319	48,19227941
5	15-Feb	31	49,5174185	48,21173957
6	17-Feb	29	48,7450436	47,84749044
7	17-Feb	29	43,2779003	47,71029859
8	18-Feb	28	54,6134716	49,03845849
9	18-Feb	28	48,1158222	48,68805943

Lanjutan tabel 5.5.

No	Dibuat Tgl	Umur Hari	Kuat tekan Rerata 2 silinder (MPa)	Rerata dari 4 pasang hasil Uji (MPa)
(1)	(2)	(3)	(4)	(6)
10	18-Feb	28	52,5106043	49,6294496
11	19-Feb	28	40,4094578	48,91233898
12	19-Feb	28	47,9925024	47,2570967
13	19-Feb	28	49,1004924	47,50326423
14	21-Feb	28	44,892453	45,5987264
15	21-Feb	28	48,8180468	47,70087363
16	21-Feb	28	45,2485414	47,01488338
17	22-Feb	28	38,4348302	44,34846783
18	22-Feb	28	43,8026554	44,07601844
19	22-Feb	28	50,8936922	44,59492981
20	24-Feb	28	46,9251438	45,01408041
21	24-Feb	28	53,1115825	48,68326849
22	24-Feb	28	58,9174638	52,4619706
23	25-Feb	31	48,6933741	51,91189105
24	25-Feb	31	47,6033014	52,08143047
25	25-Feb	28	50,4539902	51,41703238
26	27-Feb	29	40,5109173	46,81539576
27	27-Feb	29	41,7485185	45,07918188
28	27-Feb	27	47,353218	45,01666102
29	28-Feb	28	48,7356252	44,58706977
30	28-Feb	28	42,6221829	45,11488617
31	28-Feb	28	47,4640649	46,54377276
32	29-Feb	27	44,1386731	45,74013653
33	29-Feb	27	42,6721989	44,22427998
34	29-Feb	28	47,599061	45,46849948
35	1-Mar	26	40,4862999	43,72405825
36	1-Mar	26	46,6103101	44,34196749
37	1-Mar	28	39,8945887	43,64756494
38	2-Mar	28	48,1849539	43,79403817
39	2-Mar	28	43,0303029	44,4300389
40	3-Mar	28	48,7655337	44,96884481
41	3-Mar	28	49,9563798	47,48429257
42	3-Mar	28	47,6064356	47,33966299
43	4-Mar	28	42,9970183	47,33134185
44	4-Mar	28	43,7497567	46,0773976
45	6-Mar	28	47,4925546	45,46144131
46	6-Mar	28	37,9053239	43,03616337
47	6-Mar	28	45,0607538	43,55209725

5.2.2 Pengujian slump

Pengujian slump di lapangan dilakukan untuk mendapatkan nilai slump adukan beton selama pelaksanaan pengecoran, data pengujian slump ditampilkan pada tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Slump

No	Dibuat Tgl	Slump (cm)	No.	Dibuat Tgl.	Slump (cm)	No.	Dibuat Tgl.	Slump (cm)
1	12-Feb	15	18	21-Feb	15	35	29-Feb	17
2	12-Feb	17	19	21-Feb	19	36	29-Feb	18
3	12-Feb	17	20	22-Feb	18	37	29-Feb	18
4	14-Feb	16	21	22-Feb	18	38	1-Mar	18
5	14-Feb	16	22	22-Feb	18	39	1-Mar	18
6	15-Feb	17	23	24-Feb	19	40	1-Mar	19
7	15-Feb	17	24	24-Feb	18	41	2-Mar	18
8	15-Feb	17	25	24-Feb	18	42	2-Mar	19
9	17-Feb	16	26	25-Feb	14	43	3-Mar	19
10	17-Feb	17	27	25-Feb	18	44	3-Mar	19
11	18-Feb	16	28	25-Feb	16	45	3-Mar	19
12	18-Feb	17	29	27-Feb	16	46	4-Mar	18
13	18-Feb	16	30	27-Feb	18	47	4-Mar	18
14	19-Feb	17	31	27-Feb	19	48	6-Mar	18
15	19-Feb	17	32	28-Feb	17	49	6-Mar	18
16	19-Feb	16	33	28-Feb	18	50	6-Mar	18
17	21-Feb	16	34	28-Feb	18			

Analisis perhitungan keseragaman slump digunakan persamaan 3.10, 3.11, dan 3.12 terhadap data pada tabel 5.6 dapat dilihat pada lampiran 6. Nilai slump rata-rata, standar deviasi dan koefisien variasi adalah sebagai berikut :

$$sr = \frac{\sum si}{n} = \frac{869}{50} = 17,38 \text{ cm}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (si - sr)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{69,78}{50 - 1}} = 1,193349 \text{ cm}$$

$$cv = \frac{Sd}{sr} \times 100 \% = \frac{1,193349}{17,38} \times 100 \% = 6,8662 \%$$

5.2.3 Pengujian tegangan-regangan

Nilai tegangan dan regangan dihitung menggunakan persamaan 3.13 dan 3.14, berdasarkan data nilai perpendekan terhadap pertambahan beban yang diperoleh dari pengujian. Hasil perhitungan tegangan-regangan secara keseluruhan dapat dilihat pada lampiran 3. SK-SNI dan ACI sub bab 10.2.3 menyebutkan bahwa regangan maksimum yang digunakan pada serat tekan ekstrim beton diambil sama dengan 0,003. Regangan yang terjadi pada tegangan maksimal ditunjukkan pada tabel 5.7.

Tabel 5.7 Regangan pada tegangan maksimal

Umur pengujian	No.	Beban mak. (Kg)	σ mak. (Kg/cm ²)	ΔL mak. (mm)	ϵ mak. (mm/mm)	ϵ mak. Rata-rata (mm/mm)
31 hari	1	85200	487.3176	3.1195	0.022605	0.009565
	2	85100	486.5499	0.98	0.007101	
	3	88000	494.6748	0.39	0.002826	
	4	80000	457.3912	0.7905	0.005728	
29 hari	1	58900	336.7543	0.467	0.003384	0.002783
	2	83000	473.4641	0.376	0.002725	
	3	80700	456.6686	0.324	0.002348	
	4	66700	378.3018	0.369	0.002674	
28 hari	1	84100	480.1888	0.37	0.002681	0.002715
	2	88500	494.5238	0.3665	0.002656	
	3	70900	403.1986	0.37	0.002681	
	4	79600	449.2451	0.392	0.002841	
27 hari	1	73900	422.2322	0.3655	0.002649	0.002629
	2	81200	460.5413	0.368	0.002667	
	3	76200	426.6408	0.3585	0.002598	
	4	74500	426.8032	0.359	0.002601	
26 hari	1	71700	410.2117	0.4	0.002899	0.002844
	2	70600	399.5143	0.3705	0.002685	
	3	80600	455.4952	0.341	0.002471	
	4	83100	476.711	0.3925	0.002844	

Setiap benda uji tegangan-regangan diberi kode yang menunjukkan bentuk benda uji, diameter, umur pengujian, dan urutan benda uji pada umur yang sama. Sebagai contoh benda uji kode C 15-31/1 dapat diartikan sebagai benda uji *Cylinder*

berdiameter 15 cm, urutan kesatu pada umur pengujian 31 hari. Berdasarkan hubungan tegangan-regangan dapat dihitung nilai modulus secant sebagai modulus elastisitas beton. Menurut ACI 318-95 sub bab 8.5.1 nilai modulus elastisitas sebagai kemiringan garis yang ditarik dari tegangan bernilai nol sampai tegangan bernilai $0,45 f_c'$ dari grafik hubungan tegangan-regangan. Secara matematis ditunjukkan pada persamaan 3.15. Nilai regangan saat tegangan $0,45$ tegangan maksimum tidak selalu terukur dalam pengujian, sehingga dicari dengan cara interpolasi dari dua data tegangan-regangan terdekat dengan nilai yang dicari. Sebagai contoh perhitungan modulus elastisitas untuk benda uji kode C15-28/1, data hasil pengujian tegangan-regangan untuk benda uji tersebut ditampilkan pada tabel 5.8 di bawah ini.

Tabel 5.8 Hasil pengujian tegangan regangan benda uji kode C 15-28/1

Specimen no. : C15-28/1	Diameter : 14,933 cm
Dibuat tanggal : 28 Februari 2000	Tinggi : 30,065 cm
Diuji tanggal : 27 Maret 2000	Berat : 12,535 kg
Umur : 28 hari	Luas alas : 175,139 cm ²
Lo : 138 mm	

No. urut	Pi (Kg)	f_c' (kg/cm ²)	ΔL (mm)	ϵ (mm/mm)
0	0	0,000	0	0,000E+00
1	5000	28,549	0,0085	6,159E-05
2	10000	57,097	0,017	1,232E-04
3	15000	85,646	0,029	2,101E-04
4	20000	114,195	0,0425	3,080E-04
5	25000	142,743	0,057	4,130E-04
6	30000	171,292	0,0725	5,254E-04
7	35000	199,841	0,088	6,377E-04
8	40000	228,389	0,104	7,536E-04
9	45000	256,938	0,119	8,623E-04
10	50000	285,487	0,137	9,928E-04
11	55000	314,035	0,155	1,123E-03
12	60000	342,584	0,1735	1,257E-03
13	65000	371,133	0,1955	1,417E-03
14	67500	385,407	0,207	1,500E-03
15	70000	399,681	0,22	1,594E-03
16	72500	413,956	0,231	1,674E-03

Lanjutan tabel 5.8.

No. urut	Pi (Kg)	f _c i (kg/cm ²)	ΔL (mm)	ε (mm/mm)
17	75000	428,230	0,2445	1,772E-03
18	77500	442,504	0,2625	1,902E-03
19	80000	456,779	0,278	2,014E-03
20	82500	471,053	0,3015	2,185E-03
21	84100	480,189	0,37	2,681E-03

$$\sigma_{0,45} = 0,45 \times 480,189 = 216,0849 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_{0,45}$ terletak antara tegangan 199,841 kg/cm² dan 228,389 kg/cm²

$$\epsilon_{0,45} = \left[\frac{(216,0849 - 199,841) \times (7,536 \cdot 10^{-4} - 6,377 \cdot 10^{-4})}{228,389 - 199,841} \right] + 6,377 \cdot 10^{-4}$$

$$\epsilon_{0,45} = 7,03652 \cdot 10^{-4}$$

$$E_c = \frac{\sigma_{0,45}}{\epsilon_{0,45}} = \frac{216,0849}{7,03652 \cdot 10^{-4}} = 307090,558 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 30709,558 \text{ MPa.}$$

Perhitungan modulus elastisitas untuk benda uji yang lain dilakukan dengan cara sama seperti di atas. Hasil perhitungan modulus elastisitas dengan metode analisis berdasarkan grafik hubungan tegangan-regangan tersebut, selengkapnya ditampilkan dalam tabel 5.9.

Selain menggunakan cara analisis berdasarkan uji tegangan-regangan di atas, modulus elastisitas menurut ACI 318-95 dapat dihitung dengan pendekatan teoritis menggunakan persamaan 3.16. Modulus elastisitas juga dihitung menurut pendekatan dari ACI 363R-84 untuk klasifikasi beton kinerja tinggi menggunakan persamaan 3.17. Hasil perhitungan modulus elastisitas berdasarkan pendekatan teoritis menurut

ACI 318-95 maupun ACI 363R-84 terhadap hasil penelitian ditampilkan pada tabel

5.10.

Tabel 5.9 Analisis E_c berdasarkan hubungan tegangan-regangan

No	Kode Nomor	Pi Maks (KN)	σ mak. (MPa)	ϵ mak. (mm/mm)	E_c (MPa)	E_c rerata setiap umur, (MPa)
1	C15-31/1	852	48,73176	2,261E-02	26658,6282	27577,4672
2	C15-31/2	851	48,65499	7,101E-03	28181,589	
3	C15-31/3	880	49,46748	2,826E-03	28105,4944	
4	C15-31/4	800	45,73912	5,728E-03	27364,157	
5	C15-29/1	589	33,67543	3,384E-03	25327,3843	27551,2207
6	C15-29/2	830	47,34641	2,725E-03	27286,0823	
7	C15-29/3	807	45,66686	2,348E-03	29134,2354	
8	C15-29/4	667	38,08394	2,674E-03	28457,1808	
9	C15-28/1	841	48,01888	2,681E-03	30709,0558	28497,7432
10	C15-28/2	885	50,08076	2,656E-03	27924,46	
11	C15-28/3	709	40,31986	2,681E-03	28216,0406	
12	C15-28/4	796	44,92451	2,841E-03	27141,4162	
13	C15-27/1	739	42,22322	2,649E-03	29381,6407	27882,0431
14	C15-27/2	812	46,05413	2,667E-03	26631,544	
15	C15-27/3	762	43,01708	2,598E-03	25971,0778	
16	C15-27/4	745	42,68032	2,601E-03	29543,9097	
17	C15-26/1	717	41,02117	2,899E-03	24522,5505	25899,0129
18	C15-26/2	706	39,95143	2,685E-03	25649,6045	
19	C15-26/3	806	45,54952	2,471E-03	26235,1834	
20	C15-26/4	831	47,6711	2,844E-03	27188,7173	

Tabel 5.10 Analisis E_c berdasarkan pendekatan ACI 318-95 dan ACI 363R-84

No	Kode Nomor	Pi Maks (kn)	f_c' (Mpa)	E_c Menurut ACI 318-95 (MPa)	E_c Menurut ACI 363R-84 (MPa)
1	C15-31/1	852	48,73176	32809,8233	29936,68445
2	C15-31/2	851	48,65499	32783,9711	29918,5329
3	C15-31/3	880	49,46748	33056,56732	30109,93025
4	C15-31/4	800	45,73912	31786,43129	29218,13261
5	C15-29/1	589	33,67543	27274,35102	26050,07625
6	C15-29/2	830	47,34641	32340,10056	29606,87911
7	C15-29/3	807	45,66686	31761,31138	29200,49522
8	C15-29/4	667	38,08394	29004,72613	27265,02047
9	C15-28/1	841	48,01888	32568,95694	29767,56551
10	C15-28/2	885	50,08076	33260,84616	30253,36007

Lanjutan tabel 5.10.

No	Kode Nomor	Pi Maks (kn)	fc'i (Mpa)	E _c Menurut ACI 318-95 (MPa)	E _c Menurut ACI 363R-84 (MPa)
11	C15-28/3	709	40,31986	29844,02251	27854,31368
12	C15-28/4	796	44,92451	31502,10092	29018,49639
13	C15-27/1	739	42,22322	30540,31485	28343,19979
14	C15-27/2	812	46,05413	31895,70106	29294,85394
15	C15-27/3	762	43,01708	30826,08012	28543,84349
16	C15-27/4	745	42,68032	30705,18155	28458,95726
17	C15-26/1	717	41,02117	30102,45336	28035,76513
18	C15-26/2	706	39,95143	29707,35655	27758,35673
19	C15-26/3	806	45,54952	31720,47966	29171,82615
20	C15-26/4	831	47,6711	32450,80384	29684,60695
Rata-rata			44,4439	31297,07898	28874,54482

Dari tabel 5.9 dilakukan analisis regresi linear dan korelasi nilai modulus elastisitas hasil penelitian terhadap akar kuadrat kuat tekan. Perhitungan regresi dan korelasi dapat dilihat pada lampiran 5, hasil perhitungan tersebut adalah :

Persamaan regresi linear : $Y = 1539,1x + 17232$

Koefisien determinasi : $(R^2) = 0,1057$

Koefisien korelasi : $(R) = 0,3251$

Untuk mengetahui kesesuaian penggunaan regresi linear dilakukan pengujian yang ditampilkan pada lampiran 6. Hasil pengujian tersebut menunjukkan nilai f hitung adalah 1,48 lebih kecil dari f tabel sebesar 3,18, sehingga penggunaan model regresi linear dapat diterima.

Selisih antara nilai modulus elastisitas hasil penelitian terregresi dengan modulus elastisitas hasil pendekatan teoritis dihitung dengan persamaan 3.18. Perhitungan penyimpangan modulus elastisitas hasil penelitian terregresi terhadap modulus elastisitas pendekatan menurut ACI 318-95 dan ACI 363R-84 ditunjukkan pada tabel 5.11 dan 5.12 berikut ini.

Tabel 5.11 Perhitungan penyimpangan nilai modulus elastisitas hasil penelitian terregresi terhadap modulus elastisitas pendekatan ACI 318-95

No	Kode Nomor	f_c' (Mpa)	$\sqrt{f_c'}$ (MPa)	E_c ACI 318-95 (MPa)	E_c Hasil penelitian (MPa)	Selisih (%)
1	C15-31/1	48,73176	6,980813	32809,8233	27976,17001	14,7323
2	C15-31/2	48,65499	6,975313	32783,9711	27967,70424	14,6909
3	C15-31/3	49,46748	7,033312	33056,56732	28056,9708	15,1244
4	C15-31/4	45,73912	6,76307	31786,43129	27641,04179	13,0414
5	C15-29/1	33,67543	5,803053	27274,35102	26163,4795	4,073
6	C15-29/2	47,34641	6,880872	32340,10056	27822,3508	13,9695
7	C15-29/3	45,66686	6,757726	31761,31138	27632,81582	12,9985
8	C15-29/4	38,08394	6,171218	29004,72613	26730,12212	7,8422
9	C15-28/1	48,01888	6,929565	32568,95694	27897,29396	14,3439
10	C15-28/2	50,08076	7,076776	33260,84616	28123,8656	15,4445
11	C15-28/3	40,31986	6,349792	29844,02251	27004,9649	9,513
12	C15-28/4	44,92451	6,702575	31502,10092	27547,93266	12,5521
13	C15-27/1	42,22322	6,497939	30540,31485	27232,97842	10,8294
14	C15-27/2	46,05413	6,786319	31895,70106	27676,82415	13,2271
15	C15-27/3	43,01708	6,55874	30826,08012	27326,55743	11,3525
16	C15-27/4	42,68032	6,533017	30705,18155	27286,967	11,1324
17	C15-26/1	41,02117	6,404777	30102,45336	27089,59276	10,0087
18	C15-26/2	39,95143	6,320714	29707,35655	26960,21116	09,2474
19	C15-26/3	45,54952	6,749038	31720,47966	27619,44473	12,9287
20	C15-26/4	47,6711	6,904426	32450,80384	27858,60259	14,1513
	Rata-rata	44,4439		31297,07898	27480,79452	12,0601

Tabel 5.12 Perhitungan penyimpangan nilai modulus elastisitas hasil penelitian terregresi terhadap modulus elastisitas pendekatan ACI 363R-84

No	Kode Nomor	f_c' (Mpa)	$\sqrt{f_c'}$ (MPa)	E_c ACI 363R-84 (MPa)	E_c Hasil penelitian (Mpa)	Selisih (%)
1	C15-31/1	48,73176	6,980813	29936,68445	27976,17001	6,5489
2	C15-31/2	48,65499	6,975313	29918,5329	27967,70424	6,5205
3	C15-31/3	49,46748	7,033312	30109,93025	28056,9708	6,8182
4	C15-31/4	45,73912	6,76307	29218,13261	27641,04179	5,3976
5	C15-29/1	33,67543	5,803053	26050,07625	26163,4795	-0,4353
6	C15-29/2	47,34641	6,880872	29606,87911	27822,3508	6,0274

Lanjutan tabel 5.12.

No	Kode Nomor	f_c' (Mpa)	$\sqrt{f_c'}$ (MPa)	E_c ACI 363R-84 (MPa)	E_c Hasil penelitian (Mpa)	Selisih (%)
7	C15-29/3	45,66686	6,757726	29200,49522	27632,81582	5,3687
8	C15-29/4	38,08394	6,171218	27265,02047	26730,12212	1,9618
9	C15-28/1	48,01888	6,929565	29767,56551	27897,29396	6,2829
10	C15-28/2	50,08076	7,076776	30253,36007	28123,8656	7,0389
11	C15-28/3	40,31986	6,349792	27854,31368	27004,9649	3,0493
12	C15-28/4	44,92451	6,702575	29018,49639	27547,93266	5,0677
13	C15-27/1	42,22322	6,497939	28343,19979	27232,97842	3,9171
14	C15-27/2	46,05413	6,786319	29294,85394	27676,82415	5,5233
15	C15-27/3	43,01708	6,55874	28543,84349	27326,55743	4,2646
16	C15-27/4	42,68032	6,533017	28458,95726	27286,967	4,1182
17	C15-26/1	41,02117	6,404777	28035,76513	27089,59276	3,3749
18	C15-26/2	39,95143	6,320714	27758,35673	26960,21116	2,8753
19	C15-26/3	45,54952	6,749038	29171,82615	27619,44473	5,3215
20	C15-26/4	47,6711	6,904426	29684,60695	27858,60259	6,1514
Rata-rata		44,4439		28874,54482	27480,79452	4,7596

