

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Pada penelitian ini didapatkan beberapa hasil pengujian material serta pengujian beton agregat halus daur ulang (kuat tekan dan kuat tarik belah) yang diuraikan sebagai berikut ini.

5.1.1 Pengujian material

Pengujian material bertujuan agar agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat memenuhi persyaratan. Pengujian material yang dilakukan pada penelitian beton agregat halus daur ulang ini adalah pengujian agregat halus, pengujian agregat kasar, dan pengujian agregat halus daur ulang.

1. Pengujian agregat halus

Agregat halus (pasir) pada penelitian ini menggunakan agregat yang berasal dari Merapi. Pengujian agregat halus yang dilakukan yaitu pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air, pemeriksaan berat volume, modulus halus butir, serta kadar lumpur agregat halus. Hasil dari pengujian agregat halus ialah sebagai berikut.

a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Perhitungan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus menggunakan Persamaan 3.1 sampai 3.4. Berikut merupakan contoh perhitungan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus pada sampel 1.

$$\begin{aligned} 1) \text{ Berat jenis curah} &= \frac{487,8}{(673,9 + 500 - 987,7)} \\ &= 2,6198 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Berat jenis jenuh kering permukaan} &= \frac{500}{(673,9 + 500 - 987,7)} \\ &= 2,6853 \end{aligned}$$

$$3) \text{ Berat jenis semu} = \frac{487,8}{(673,9 + 487,8 - 987,7)} = 2,8034$$

$$4) \text{ Penyerapan air} = \frac{(500 - 487,8)}{487,8} \times 100 = 2,5010\%$$

Rekapitulasi hasil perhitungan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.1, data lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 5.1 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

No.	Uraian		Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Rerata
1.	Berat pasir kering mutlak, gram	Bk	487,8	487,1	487,45
2.	Berat pasir kondisi jenuh kering permukaan (SSD), gram	Bu	500	500	500
3.	Berat piknometer berisi pasir dan air, gram	Bt	987,7	974,2	980,95
4.	Berat piknometer berisi pasir, gram	B	673,9	664,8	669,35
5.	Berat jenis curah		2,6198	2,5556	2,5877
6.	Berat jenis jenuh kering permukaan		2,6853	2,6233	2,6543
7.	Berat jenis semu		2,8034	2,7411	2,7723
8.	Penyerapan air, %		2,5010	2,6483	2,5747

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5.1 didapatkan nilai berat jenis jenuh kering permukaan sebesar 2,6543. Hal tersebut menunjukkan bahwa berat jenis agregat halus (pasir Merapi) yang digunakan pada penelitian ini masuk dalam rentang nilai yang memenuhi syarat berat jenis agregat normal pada campuran beton yaitu 2,5 sampai 2,7. Sedangkan persentase penyerapan air yang diperoleh sebesar 2,5747%. Jadi semakin tinggi nilai berat jenis agregat maka semakin kecil daya serap air agregat tersebut.

b. Pemeriksaan berat volume agregat halus

Pemeriksaan berat volume agregat halus dilakukan dalam 2 kondisi, yaitu kondisi gembur dan padat. Perhitungan berat volume menggunakan Persamaan 3.5. Berikut adalah contoh perhitungan berat volume agregat halus pada kondisi gembur.

$$\begin{aligned}\text{Berat volume gembur} &= \frac{6.954}{5.470,2018} \\ &= 1,2713 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

Hasil perhitungan berat volume agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2 untuk berat volume gembur serta Tabel 5.3 untuk berat volume padat, data lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 5.2 Berat Volume Gembur Agregat halus

No.	Uraian		Hasil Pengamatan
1.	Berat tabung, gram	W1	12.883
2.	Berat tabung + agregat halus kondisi jenuh, gram	W2	19.837
3.	Berat agregat halus, gram	W3	6.954
4.	Volume tabung, cm ³		5.470,2018
5.	Berat volume gembur, gram/cm ³		1,2713

Tabel 5.3 Berat Volume Padat Agregat halus

No.	Uraian		Hasil Pengamatan
1.	Berat tabung, gram	W1	12.883
2.	Berat tabung + agregat halus kondisi jenuh, gram	W2	21.218
3.	Berat agregat halus, gram	W3	8.335
4.	Volume tabung, cm ³		5.470,2018
5.	Berat volume padat, gram/cm ³		1,5237

Hasil pengujian berat volume agregat halus pada kondisi gembur dan padat adalah 1,2713 gram/cm³ serta 1,5237 gram/cm³. Selisih dari berat volume

kondisi gembur dan padat sebesar $0,2524 \text{ gram/cm}^3$. Semakin kecil selisih berat volume kondisi gembur dengan kondisi padat dapat menunjukkan bahwa agregat tersebut mempunyai gradasi yang baik.

c. Modulus halus butir

Peguajian analisa saringan dimaksudkan sebagai pegangan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dalam saringan. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.4, data lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 5.4 Hasil Analisa Saringan Agregat Halus

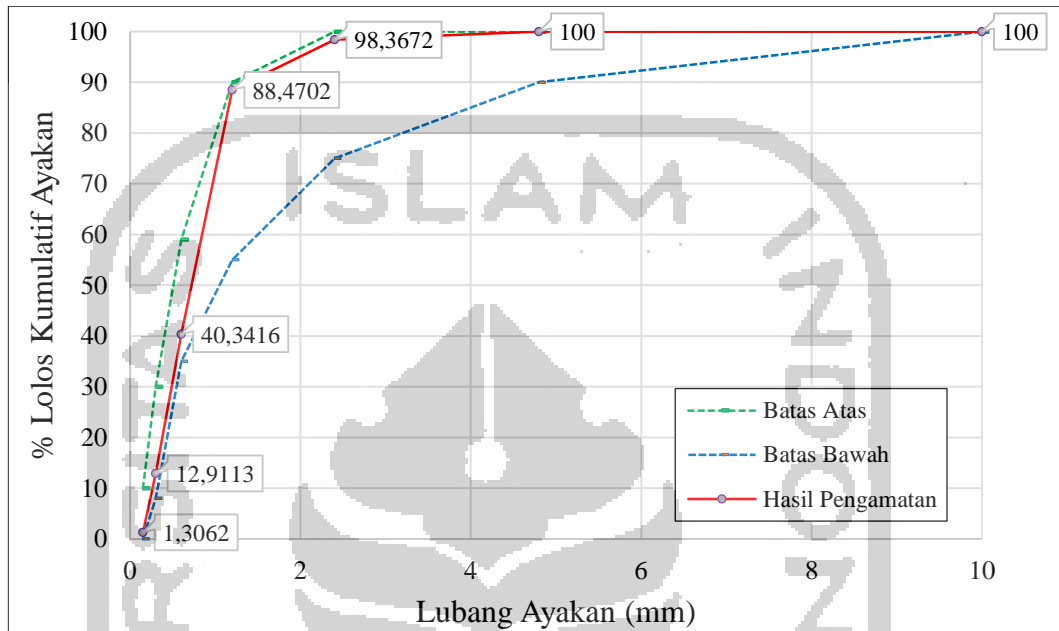
No.	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
1.	10	0	0	0	100
2.	4,80	0	0	0	100
3.	2,40	32,5	1,6328	1,6328	98,3672
4.	1,20	197	9,8970	11,5298	88,4702
5.	0,60	958	48,1286	59,6584	40,3416
6.	0,30	546	27,4303	87,0887	12,9113
7.	0,15	231	11,6051	98,6938	1,3062
8.	Sisa	26	1,3062	100	0
9.	Jumlah	1990,5	100	258,6034	441,3966

Modulus halus butir dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.6. Berikut merupakan perhitungan modulus halus butir agregat halus (pasir Merapi).

$$\begin{aligned} \text{Modulus halus butir} &= \frac{258,6034}{100} \\ &= 2,586034 \end{aligned}$$

Menurut SK SNI S-04-1989-F (hal: 28), pada umumnya agregat halus mempunyai modulus halus butir antara 1,5 sampai 3,8. Dari hasil yang diperoleh modulus halus butir agregat halus yaitu 2,586034, masuk dalam rentang nilai yang memenuhi syarat. Untuk grafik hubungan persen lolos

kumulatif ayakan dengan diameter lubang ayakan dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini.

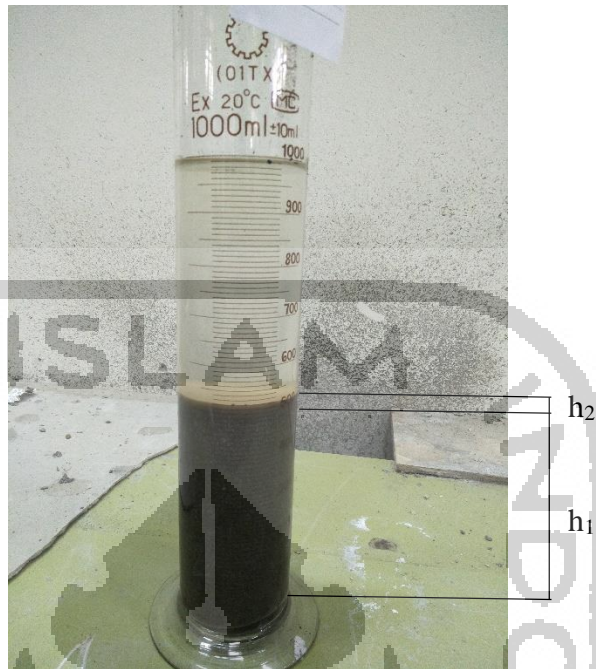


Gambar 5.1 Grafik Hubungan Persen Lolos Kumulatif Ayakan dengan Diameter Lubang Ayakan Pasir Merapi

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan, pada penelitian ini pasir Merapi masuk dalam gradasi Daerah II. Gradasi tersebut merupakan golongan pasir agak kasar.

d. Kadar lumpur agregat halus

Pengujian kadar lumpur agregat halus (pasir Merapi) pada penelitian ini adalah menggunakan gelas ukur berkapasitas 1000 ml. Hasil pengujian kadar lumpur dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Pengujian Kadar Lumpur dengan Gelas Ukur

Perhitungan kadar lumpur agregat halus ialah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar lumpur} &= \frac{h_2}{h_1+h_2} \times 100 \\
 &= \frac{20}{(500+20)} \times 100 \\
 &= 3,8462\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F kandungan kadar lumpur agregat halus untuk campuran beton maksimum 5%. Hasil perhitungan kadar lumpur agregat halus didapatkan sebesar 3,8462%, hal tersebut menunjukkan bahwa kadar lumpur pasir Merapi memenuhi persyaratan sebagai bahan campuran beton.

2. Pengujian agregat kasar

Agregat kasar (*split*) pada penelitian ini menggunakan agregat yang berasal dari Merapi. Pengujian agregat kasar yang dilakukan meliputi pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air, pemeriksaan berat volume, serta modulus halus butir. Hasil dari pengujian agregat kasar adalah sebagai berikut.

a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Perhitungan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar menggunakan Persamaan 3.8 sampai 3.11. Berikut merupakan contoh perhitungan berat jenis dan penyerapan air pada sampel 1.

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat jenis curah} &= \frac{4.857}{(5.000 - 2.997)} \\
 &= 2,4249 \\
 2) \text{ Berat jenis jenuh kering permukaan} &= \frac{5.000}{(5.000 - 2.997)} \\
 &= 2,4963 \\
 3) \text{ Berat jenis semu} &= \frac{4.857}{(4.857 - 2.997)} \\
 &= 2,6113 \\
 4) \text{ Penyerapan air} &= \frac{(5.000 - 4.857)}{4.857} \times 100 \\
 &= 2,9442\%
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.5, data lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 5.5 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

No.	Uraian		Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Rerata
1.	Berat kerikil kering mutlak, gram	Bk	4.857	4871	4864
2.	Berat kerikil kondisi jenuh kering permukaan (SSD), gram	Bj	5.000	5.000	5.000
3.	Berat kerikil dalam air, gram	Ba	2.997	3.033	3.015
4.	Berat jenis curah		2,4249	2,4764	2,4506
5.	Berat jenis jenuh kering permukaan		2,4963	2,5419	2,5191
6.	Berat jenis semu		2,6113	2,6502	2,6307
7.	Penyerapan air, %		2,9442	2,6483	2,7963

Berdasarkan Tabel 5.5 diperoleh hasil pengujian berat jenis jenuh kering permukaan sebesar 2,5191. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai berat jenis agregat kasar (batu pecah Merapi) yang digunakan pada penelitian ini masuk dalam berat jenis agregat normal yaitu 2,5 sampai 2,7. Untuk hasil penyerapan air agregat kasar didapatkan 2,7963%.

b. Pemeriksaan berat volume agregat kasar

Pemeriksaan berat volume agregat kasar dilakukan dalam 2 kondisi, yaitu kondisi gembur dan padat. Perhitungan berat volume menggunakan Persamaan 3.12. Contoh perhitungan berat volume agregat kasar pada kondisi gembur adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Berat volume gembur} &= \frac{6.944}{5.470,2018} \\ &= 1,2694 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan berat volume agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.6 Untuk kondisi gembur serta Tabel 5.7 untuk kondisi padat, data lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 5.6 Berat Volume Gembur Agregat Kasar

No.	Uraian		Hasil Pengamatan
1.	Berat tabung, gram	W1	12.883
2.	Berat tabung + agregat kasar kondisi jenuh, gram	W2	19.827
3.	Berat agregat kasar, gram	W3	6.944
4.	Volume tabung, cm ³		5.470,2018
5.	Berat volume gembur, gram/cm ³		1,2694

Tabel 5.7 Berat Volume Padat Agregat Kasar

No.	Uraian		Hasil Pengamatan
1.	Berat tabung, gram	W1	12.883
2.	Berat tabung + agregat kasar kondisi jenuh, gram	W2	20.332
3.	Berat agregat kasar, gram	W3	7.449
4.	Volume tabung, cm ³		5.470,2018
5.	Berat volume padat, gram/cm ³		1,3617

Hasil pengujian berat volume agregat kasar kondisi gembur dan padat adalah 1,2694 gram/cm³ serta 1,3617 gram/cm³. Selisih dari berat volume agregat kasar sebesar 0,0923 gram/cm³. Kecilnya selisih hasil pengujian berat volume pada kondisi gembur dan kondisi padat menunjukkan bahwa agregat tersebut memiliki gradasi yang baik.

c. Modul halus butir

Pengujian analisa saringan dimaksudkan sebagai pegangan dalam menentukan pembagian butir (gradasi) agregat kasar. Hasil analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.8, data lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.

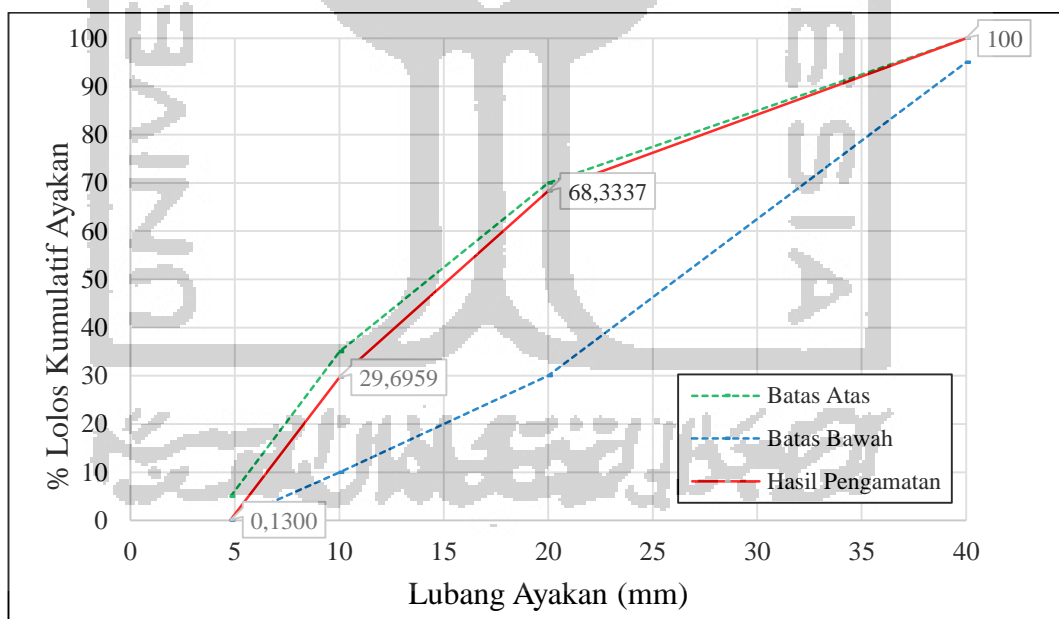
Tabel 5.8 Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar

No.	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
1.	40	0	0	0	100
2.	20	1.583	31,6663	31,6663	68,3337
3.	10	1.931,5	38,6377	70,3041	29,6959
4.	4,80	1.478	29,5659	99,8700	0,1300
5.	2,40	2,5	0,0500	99,9200	0,0800
6.	1,20	0,3	0,0060	99,9260	0,0740
7.	0,60	0	0	99,9260	0,0740
8.	0,30	0	0	99,9260	0,0740
9.	0,15	0	0	99,9260	0,0740
10.	Sisa	3,7	0,0740	100	0
11.	Jumlah	4.999	100	701,4643	198,5357

Modulus halus butir agregat kasar dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.13. Berikut perhitungan modulus halus butir agregat kasar (batu pecah Merapi).

$$\begin{aligned} \text{Modulus halus butir} &= \frac{701,4643}{100} \\ &= 7,014643 \end{aligned}$$

Menurut SK SNI S-04-1989-F, pada umumnya nilai modulus halus butir agregat kasar antara 5 sampai 8. Hasil yang didapat dari perhitungan modulus halus butir batu pecah Merapi sebesar 7,014643, hal tersebut menunjukkan bahwa nilai modulus halus butir masuk dalam rentang nilai yang memenuhi persyaratan. Untuk grafik hubungan persen lolos kumulatif ayakan dengan diameter lubang ayakan dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut ini.



Gambar 5.3 Grafik Hubungan Persen Lolos Kumulatif Ayakan dengan Diameter Lubang Ayakan Batu Pecah Merapi

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan, pada penelitian ini batu pecah Merapi masuk ke dalam gradasi dengan butir maksimum 40 mm.

3. Pengujian agregat halus daur ulang

Agregat halus daur ulang yang dipakai berasal dari limbah beton kontrol Proyek Pembangunan Fakultas Hukum, Universitas Islam Indonesia, dengan kuat tekan rata-rata sebesar 44,6263 MPa. Pengujian agregat halus daur ulang yang dilakukan ialah pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air, berat volume, modulus halus butir, serta kadar lumpur agregat halus daur ulang. Hasil pengujian agregat halus daur ulang adalah sebagai berikut.

a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus daur ulang

Perhitungan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus daur ulang menggunakan Persamaan 3.1 sampai 3.4. Berikut contoh perhitungan berat jenis dan penyerapan air pada sampel 1.

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat jenis curah} &= \frac{484,1}{(722,9 + 500 - 1.023,6)} \\
 &= 2,4290 \\
 2) \text{ Berat jenis jenuh kering permukaan} &= \frac{500}{(722,9 + 500 - 1.023,6)} \\
 &= 2,5088 \\
 3) \text{ Berat jenis semu} &= \frac{484,1}{(722,9 + 484,1 - 1.023,6)} \\
 &= 2,6396 \\
 4) \text{ Penyerapan air} &= \frac{(500 - 484,1)}{484,1} \times 100 \\
 &= 3,2844\%
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus daur ulang dapat dilihat pada Tabel 5.9, data lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 5.9 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus Daur Ulang

No.	Uraian		Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Rerata
1.	Berat agregat halus daur ulang kering mutlak, gram	Bk	484,1	485,3	484,7
2.	Berat agregat halus daur ulang kondisi jenuh kering permukaan (SSD), gram	Bu	500	500	500
3.	Berat piknometer berisi agregat halus daur ulang dan air, gram	Bt	1023,6	1017,2	1020,5
4.	Berat piknometer berisi air, gram	B	722,9	713,2	718,05
5.	Berat jenis curah		2,4290	2,4785	2,4538
6.	Berat jenis jenuh kering permukaan		2,5088	2,5536	2,5312
7.	Berat jenis semu		2,6396	2,6797	2,6597
8.	Penyerapan air, %		3,2844	3,0291	3,1567

Berdasarkan Tabel 5.9 hasil pemeriksaan berat jenis jenuh kering permukaan agregat halus daur ulang ialah sebesar 2,5312. Hal tersebut menunjukkan bahwa berat jenis (limbah beton kontrol Proyek Pembangunan Fakultas Hukum, Universitas Islam Indonesia) yang digunakan pada penelitian ini masuk dalam rentang nilai yang memenuhi syarat berat jenis agregat normal yaitu 2,5 sampai 2,7. Agregat halus daur ulang mengandung kadar lumpur yang lebih tinggi dibandingkan agregat halus alami yang mempengaruhi berat jenis agregat halus daur ulang memiliki nilai lebih rendah. Persentase penyerapan air pada agregat halus daur ulang ini adalah sebesar 3,1567%. Dari data tersebut penyerapan air agregat halus daur ulang memiliki daya serap yang lebih besar dibandingkan dengan agregat halus alami. Daya serap yang besar diakibatkan oleh agregat halus daur ulang yang merupakan agregat yang berasal dari agregat alami yang telah bercampur dengan semen sehingga menyebabkan penyerapan air tinggi.

b. Pemeriksaan berat volume agregat halus daur ulang

Pemeriksaan berat volume agregat daur ulang dilakukan dalam 2 kondisi, yaitu pada kondisi gembur dan padat. Perhitungan berat volume menggunakan Persamaan 3.5 Berikut merupakan contoh perhitungan berat volume agregat halus daur ulang pada kondisi gembur.

$$\begin{aligned} \text{Berat volume gembur} &= \frac{6.068}{5.502,403} \\ &= 1,1028 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan berat volume agregat halus daur ulang dapat dilihat pada Tabel 5.10 untuk kondisi gembur serta Tabel 5.11 untuk kondisi padat, data lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 5.10 Berat Volume Gembur Agregat Halus Daur Ulang

No.	Uraian		Hasil Pengamatan
1.	Berat tabung, gram	W1	12.872
2.	Berat tabung + agregat halus daur ulang kondisi jenuh, gram	W2	18.940
3.	Berat agregat halus daur ulang, gram	W3	6.068
4.	Volume tabung, cm ³		5.502,403
5.	Berat volume gembur, gram/cm ³		1,1028

Tabel 5.11 Berat Volume Padat Agregat Halus Daur Ulang

No.	Uraian		Hasil Pengamatan
1.	Berat tabung, gram	W1	12.872
2.	Berat tabung + agregat halus daur ulang kondisi jenuh, gram	W2	20.135
3.	Berat agregat halus daur ulang, gram	W3	7.263
4.	Volume tabung, cm ³		5.502,403
5.	Berat volume padat, gram/cm ³		1,3200

Hasil pengujian berat volume agregat halus daur ulang pada kondisi gembur dan kondisi padat ialah 1,1028 gram/cm³ serta 1,3200 gram/cm³. Selisih berat volume pada kondisi gembur dan padat yaitu 0,2172 gram/cm³. Hal

tersebut menunjukkan agregat halus daur ulang mempunyai gradasi yang cukup baik. Nilai selisih berat volume agregat halus daur ulang hampir sama dengan berat volume agregat halus alami.

c. Modulus halus butir

Pengujian analisa saringan dimaksudkan sebagai pegangan untuk menentukan pembagian butir agregat halus daur ulang. Hasil analisa saringan agregat halus daur ulang dapat dilihat pada Tabel 5.12, data lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 5.12 Hasil Analisa Saringan Agregat Halus Daur Ulang

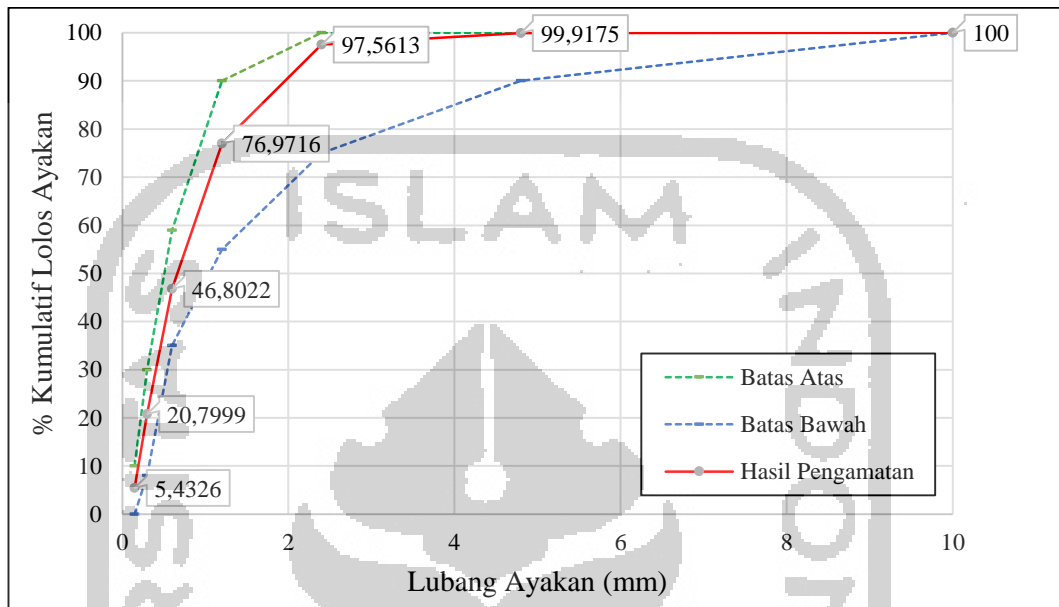
No.	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
1.	10	0	0	0	100
2.	4,80	1,65	0,0825	0,0825	99,9175
3.	2,40	47,1	2,3561	2,4387	97,5613
4.	1,20	411,6	20,5898	23,0284	76,9716
5.	0,60	603,1	30,1693	53,1978	46,8022
6.	0,30	519,8	26,0024	79,2001	20,7999
7.	0,15	307,2	15,3673	94,5674	5,4326
8.	Sisa	108,6	5,4326	100	0
9.	Jumlah	1999,05	100	252,5149	447,4851

Modulus halus butir dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.6. Perhitungan modulus halus butir agregat halus daur ulang yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Modulus halus butir} &= \frac{252,5149}{100} \\ &= 2,525149 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai modulus halus butir agregat halus daur ulang adalah sebesar 2,525149. Menurut SK SNI S-04-1989-F, pada umumnya nilai modulus halus butir antara 1,5 sampai 3,8, sehingga dari hasil yang diperoleh masuk dalam rentang nilai yang disyaratkan. Untuk

grafik hubungan persen lolos kumulatif ayakan dengan diameter lubang ayakan dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Grafik Hubungan Persen Lolos Kumulatif Ayakan dengan Diameter Lubang Ayakan Agregat Halus Daur Ulang

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan, agregat halus daurr ulang yang digunakan dalam penelitian ini masuk dalam gradasi Daerah II. Gradasi tersebut merupakan golongan pasir agak kasar.

d. Kadar lumpur agregat halus daurr ulang

Perhitungan kadar lumpur agregat halus daurr ulang menggunakan Persamaan 3.7. Berikut merupakan contoh perhitungan kadar lumpur agregat halus daurr ulang pada sampel 1.

$$\begin{aligned} \text{Kadar lumpur} &= \frac{(479,7 - 454)}{479,7} \times 100 \\ &= 5,3575\% \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan kadar lumpur agregat halus daurr ulang dapat dilihat pada Tabel 5.13, data lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 5.13 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus Daur Ulang

No.	Uraian		Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Rerata
1.	Berat agregat kering oven, gram	W1	479,7	485,3	482,5
2.	Berat agregat kering oven setelah dicuci, gram	W2	454	460,1	457,05
3.	Kadar lumpur, %		5,3575	5,1927	5,2751

Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F kandungan kadar lumpur agregat halus untuk campuran beton maksimum 5%. Hasil perhitungan kadar lumpur agregat halus daur ulang diperoleh yaitu sebesar 5,2751%, hal tersebut menunjukkan bahwa kadar lumpur agregat halus daur ulang tidak memenuhi persyaratan, sehingga agregat halus daur ulang harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan campuran beton. Rekapitulasi hasil perhitungan kadar lumpur agregat halus daur ulang setelah dicuci dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus Daur Ulang (Setelah Dicuci)

No.	Uraian		Hasil Pengamatan		
			Sampel 1	Sampel 2	Rerata
1.	Berat agregat kering oven, gram	W1	484,2	486,6	485,4
2.	Berat agregat kering oven setelah dicuci, gram	W2	464,1	466,8	465,45
3.	Kadar lumpur, %		4,1512	4,0691	4,1101

Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus daur ulang setelah dicuci masuk dalam persyaratan kandungan kadar lumpur untuk agregat halus yaitu sebesar 4,1101% (kurang dari 5%).

5.1.2 Perencanaan campuran beton

Perencanaan campuran beton pada penelitian ini dilakukan berdasarkan SNI 03-2834-2000. *Mix design* bertujuan untuk mengetahui proporsi campuran yang sesuai dengan kuat tekan yang direncanakan. Pada penelitian ini kuat tekan yang direncanakan sebesar 25 MPa, agregat kasar berupa batu pecah Merapi dengan butir

maksimum 40 mm, agregat halus alami dan daur ulang berada dalam golongan pasir agak kasar, semen *portland* tipe I dengan merek Holcim, serta nilai *slump* rencana 60 sampai 180 mm. Adapun tahap-tahap yang dilakukan pada perencanaan campuran beton adalah sebagai berikut.

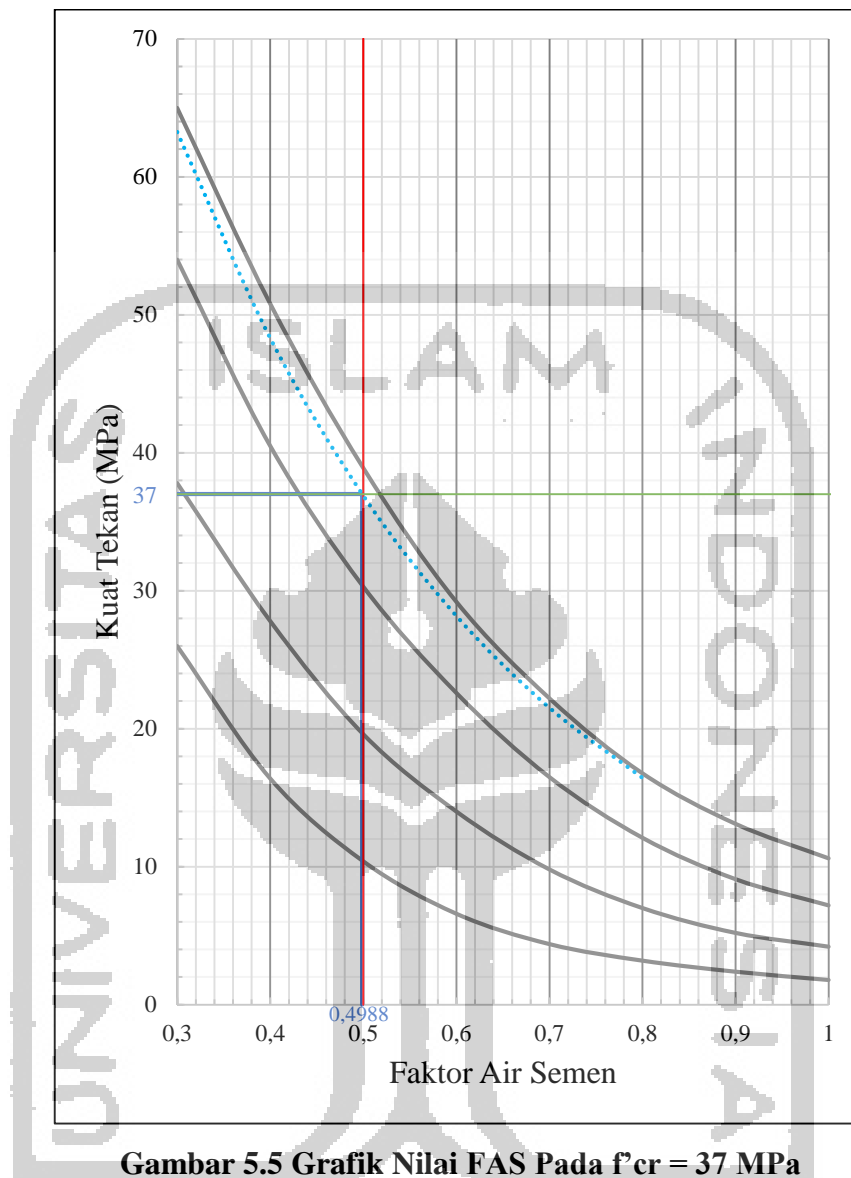
1. Menentukan f'_{cr}

Jumlah benda uji per variasi adalah 10 buah. Untuk nilai deviasi standar jika jumlah benda uji per variasi kurang dari 15 buah maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan diambil tidak kurang dari $f'_{c} + 12$ MPa. Jadi f'_{cr} yang didapatkan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} f'_{cr} &= f'_{c} + 12 \\ &= 25 + 12 \\ &= 37 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Menentukan nilai faktor air semen (FAS)

Berdasarkan Tabel 3.3 diperoleh perkiraan kuat tekan beton dengan faktor air semen 0,5 sebesar 37 MPa. Hasil tersebut didapatkan dari hubungan jenis semen, jenis agregat kasar, serta bentuk benda uji terhadap umur beton. Nilai faktor air semen yang diperoleh dari grafik dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.5 Grafik Nilai FAS Pada $f'_{cr} = 37$ MPa

Dari Gambar 5.5 didapatkan nilai faktor air semen yaitu sebesar 0,4988, sedangkan berdasarkan Tabel 3.4 nilai FAS maksimum 0,60. Sehingga nilai FAS yang diperoleh dari grafik dapat digunakan.

3. Menentukan jumlah air per meter kubik beton

Kebutuhan air per meter kubik beton dapat menggunakan Tabel 3.8, serta dihitung dengan Persamaan 3.14. Berikut perhitungan jumlah air yang dibutuhkan per meter kubik beton.

$$W = \left(\frac{2}{3} \times 175\right) + \left(\frac{1}{3} \times 205\right)$$

$$= 185 \text{ kg/m}^3$$

4. Menentukan kebutuhan semen

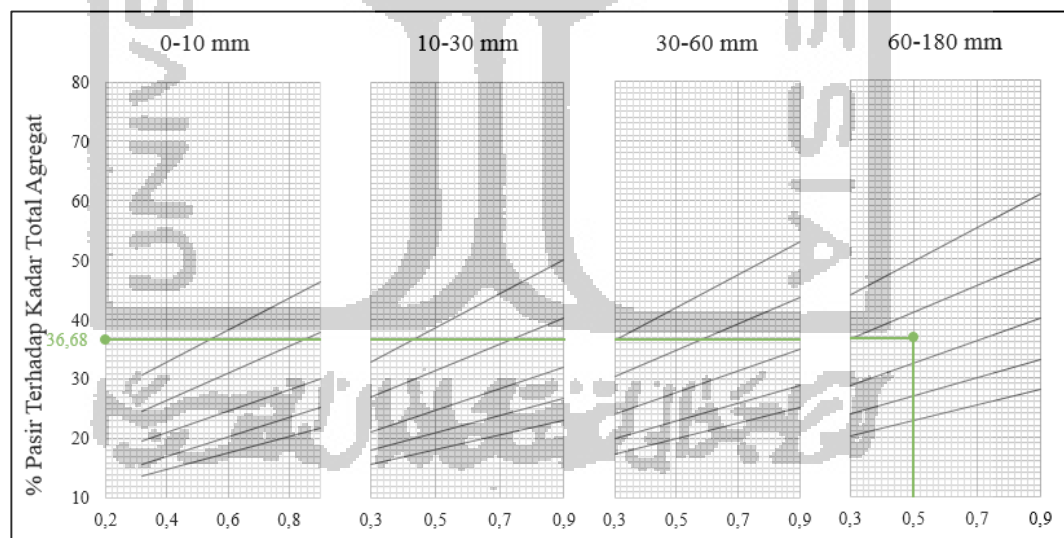
Kebutuhan semen dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.15. Perhitungan kebutuhan semen yaitu sebagai berikut ini.

$$\text{Berat semen} = \frac{185}{0,4988}$$

$$= 370,8584 \text{ kg/m}^3$$

5. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar

Persentase agregat halus dapat ditentukan berdasarkan SNI 03-2834-2000 (pada Gambar 5.7). Persentase agregat halus yang diperoleh dari grafik dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.

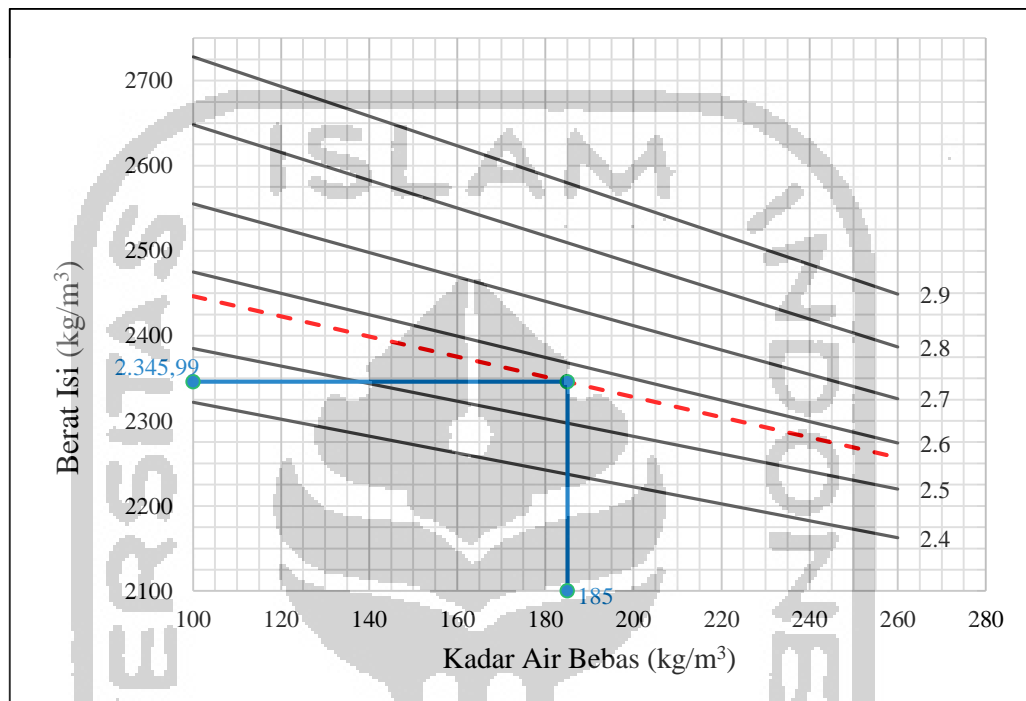


Gambar 5.6 Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Total Agregat

Berdasarkan Gambar 5.6 didapatkan persentase agregat halus terhadap total agregat sebesar 36,68%, sedangkan untuk agregat kasar adalah 63,32%.

6. Menentukan berat isi beton

Berat beton dapat diperoleh dengan memasukkan gabungan berat jenis agregat dan kadar air bebas dalam grafik yang dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.7 diperoleh berat isi beton yaitu sebesar 2.345,99 kg/m³. Dari berat total tersebut masing-masing berat agregat halus dan agregat kasar adalah 656,5485 kg/m³ serta 1.133,583 kg/m³.

7. Proporsi campuran untuk 1 m³ beton ialah sebagai berikut.
- Semen = 370,8584 kg.
 - Air = 185 kg.
 - Agregat halus = 656,5485 kg.
 - Agregat kasar = 1.133,583 kg.
8. Rekapitulasi kebutuhan material untuk 10 benda uji dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut ini.

Tabel 5.15 Rekapitulasi Kebutuhan Material (10 Benda Uji)

No.	Proporsi Agregat Daur Ulang	Agregat Halus		Agregat Kasar	Semen	Air
		Daur Ulang	Alami			
1.	0%	0	34,8065	60,0962	19,6608	9,8077
2.	20%	6,9613	27,8452	60,0962	19,6608	9,8077
3.	40%	13,9226	20,8839	60,0962	19,6608	9,8077
4.	60%	20,8839	13,9226	60,0962	19,6608	9,8077
5.	80%	27,8452	6,9613	60,0962	19,6608	9,8077
6.	100%	34,8065	0	60,0962	19,6608	9,8077

5.1.3 Pengujian beton agregat halus daur ulang

Pengujian beton agregat halus daur ulang pada penelitian ini untuk mengetahui nilai *slump*, kuat tekan, serta kuat tarik belah pada setiap proporsi agregat halus daur ulang yang digunakan. Hasil pengujian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

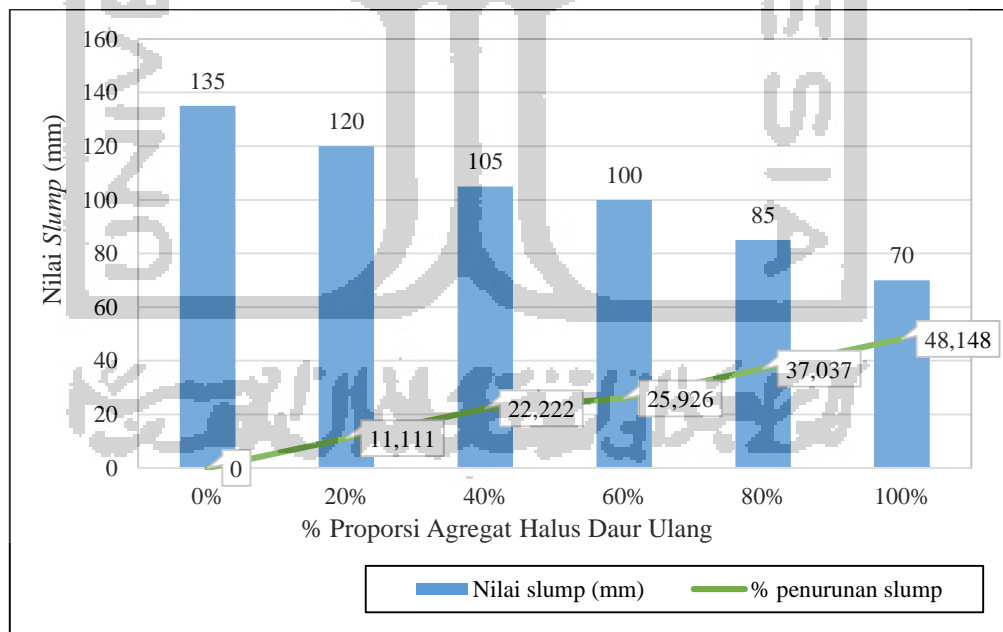
1. Hasil *slump*

Pengujian *slump* dimaksudkan untuk mengetahui tingkat *workability* atau kemudahan pengerjaan serta memantau homogenitas (kerataan campuran) beton segar dalam campuran beton dengan suatu kekentalan tertentu. Nilai *slump* yang direncanakan pada penelitian beton agregat halus daur ulang adalah 60 sampai 180 mm. Hasil pengujian *slump* untuk seluruh variasi campuran beton agregat halus daur ulang dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.16 Hasil Pengujian *Slump* Campuran Beton

No.	Proporsi Agregat Halus Daur Ulang	Nilai <i>Slump</i> (mm)
1.	0%	135
2.	20%	120
3.	40%	105
4.	60%	100
5.	80%	85
6.	100%	70

Berdasarkan Tabel 5.16 didapatkan nilai *slump* seluruh variasi pengganti sebagian atau seluruh agregat halus daur ulang mengalami penurunan terhadap nilai *slump* beton yang menggunakan agregat halus alami. Pada proporsi pengganti seluruh agregat halus daur ulang (100%) mengalami penurunan yang paling besar yaitu 48,148%. Hal tersebut terjadi akibat penyerapan air agregat halus daur ulang yang tinggi, sehingga campuran beton mempunyai tingkat kekentalan yang tinggi juga (tingkat kelecakan beton menjadi rendah). Tingkat kelecakan beton juga dapat dilihat dari gradasi dan keseragaman agregat halus. Secara umum kelecakan yang baik mempunyai bentuk agregat bulat, sedangkan untuk kekuatan yang tinggi agregat memiliki bentuk *angular* (karena luas permukaannya lebih besar). Pada penelitian ini, agregat halus daur ulang yang digunakan mempunyai bentuk pipih sehingga menyebabkan tingkat kelecakan beton berkurang. Untuk grafik penurunan *slump* dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut ini. Gambar setiap proporsi agregat halus daur ulang dapat dilihat pada Lampiran 2.



Gambar 5.8 Grafik Penurunan *Slump*

2. Kuat tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari, serta perawatan dengan cara direndam dalam air sampai satu hari sebelum pengujian dilaksanakan. Perawatan beton bertujuan untuk menjaga kelembaban dan suhu yang sesuai agar beton terhidrasi dengan baik sesuai dengan mutu yang diinginkan. Perhitungan kuat tekan beton menggunakan Persamaan 3.16. Berikut merupakan contoh perhitungan kuat tekan beton pada benda uji dengan kode N1.

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan (f'c)} &= \frac{520.000}{18.121,97092} \\ &= 28,6945 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan kuat tekan beton agregat halus daur ulang dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut ini.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Agregat Halus Daur Ulang

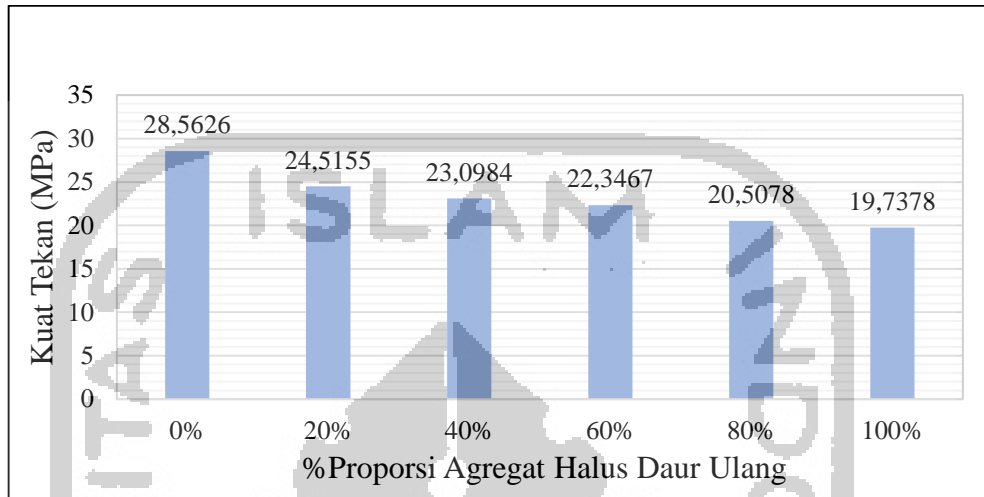
No.	Kode Benda Uji	P maks (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)	Persentase Penurunan (%)
1.	N1	520	28,6945	28,5626	-
2.	N2	465	25,7781		
3.	N3	525	29,1717		
4.	N4	520	29,1436		
5.	N10	540	30,0250		
6.	DUA2	420	23,9264	24,5155	14,1691
7.	DUA4	455	25,4078		
8.	DUA7	440	24,8244		
9.	DUA8	450	25,2120		
10.	DUA10	420	23,2069		
11.	DUB2	405	23,1028	23,0894	19,1304
12.	DUB3	422	23,8883		
13.	DUB4	440	24,5134		
14.	DUB8	390	22,5919		
15.	DUB9	400	22,3958		

Lanjutan Tabel 5.17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Agregat Halus Daur Ulang

No.	Kode Benda Uji	P maks (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)	Persentase Penurunan (%)
16.	DUC1	370	21,0780	22,3476	21,7624
17.	DUC2	400	22,2922		
18.	DUC4	422	23,4717		
19.	DUC9	410	23,0627		
20.	DUC10	390	21,8287		
21.	DUD2	360	19,9836	20,5078	28,2005
22.	DUD4	370	20,9098		
23.	DUD6	380	21,4607		
24.	DUD8	350	19,6942		
25.	DUD9	365	20,4905		
26.	DUE1	342	18,7485	19,7378	30,8964
27.	DUE3	370	20,6750		
28.	DUE4	350	19,8059		
29.	DUE7	345	19,3164		
30.	DUE8	360	20,1429		

Berdasarkan Tabel 5.17 hasil kuat tekan beton agregat halus daur ulang rerata mengindikasikan terjadinya penurunan pada masing-masing variasi pengganti sebagian atau seluruh agregat halus daur ulang. Proporsi 100% agregat halus daur ulang menyebabkan penurunan sebesar 30,8964% terhadap kuat tekan beton dengan proporsi 0%, dengan nilai kuat tekan adalah 19,7378 MPa. Pada penelitian ini penurunan kuat tekan diakibatkan agregat halus daur ulang yang mempunyai daya serap tinggi sehingga jumlah air yang bereaksi dengan semen akan berkurang atau kurang maksimalnya proses hidrasi serta memiliki *workability* rendah. Kandungan kadar lumpur yang dimiliki oleh agregat halus daur ulang tinggi yang berarti semakin banyak luas permukaan butir agregat halus daur ulang yang tertutup lumpur, sehingga mengurangi bereaksinya pasta semen dengan agregat halus daur ulang yang berakibat memperkecil daya ikat dan mengurangi kuat tekan beton. Bentuk agregat halus daur ulang juga mempengaruhi penurunan kuat tekan dikarenakan mempunyai bentuk yang

pipih, sehingga ikatan antar agregatnya kurang baik. Untuk grafik kuat tekan beton agregat halus daur ulang dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Agregat Halus Daur Ulang

Hasil pengujian kuat tekan pada masing-masing sampel beton agregat halus daur ulang dengan dengan proporsi 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% dapat dilihat pada Lampiran 4 Data Hasil Pengujian. Gambar benda uji saat berada pada mesin penekan dan setelah dilakukan pengujian dapat dilihat pada Lampiran 3.

3. Kuat tarik belah

Pengujian kuat tarik belah dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari sama dengan pengujian kuat tekan beton agregat halus daur ulang. Perhitungan kuat tarik belah beton agregat halus daur ulang menggunakan Persamaan 3.17. Berikut merupakan contoh perhitungan kuat tarik belah pada benda uji dengan kode N5.

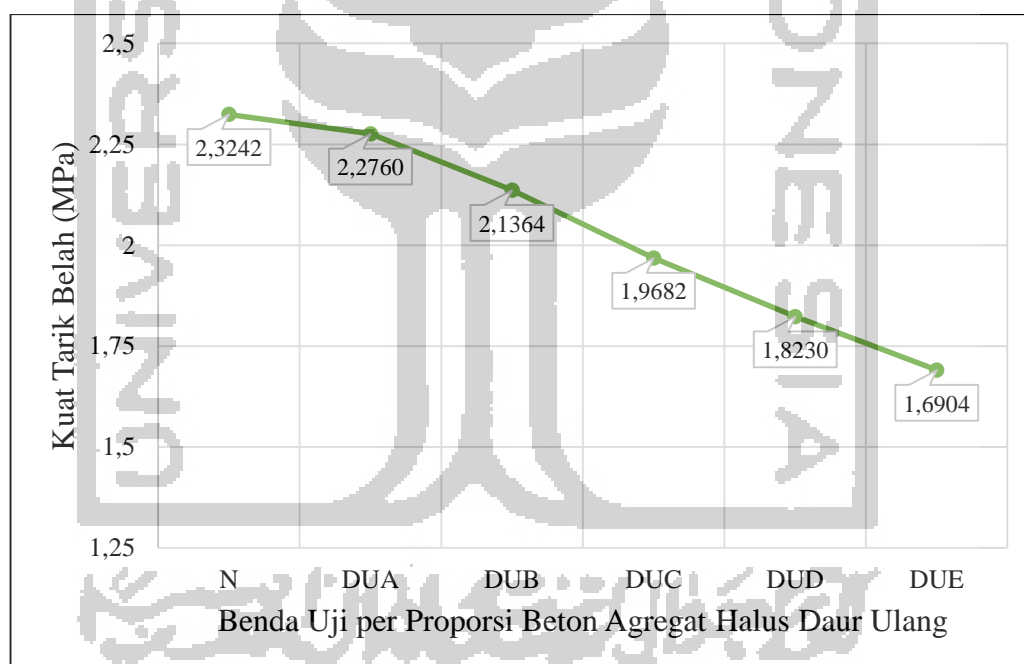
$$\begin{aligned} \text{Kuat tarik belah (f'ct)} &= \frac{390.000}{147.191,2} \\ &= 2,6496 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan kuat tarik belah beton agregat halus daur ulang dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut ini.

Tabel 5.18 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Agregat Halus Daur Ulang

No.	Kode Benda Uji	P maks (kN)	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Tarik Rerata (MPa)	Persentase Penurunan (%)
1.	N5	195	2,6496	2,3242	-
2.	N6	200	2,7397		
3.	N7	148	2,0521		
4.	N8	112	1,5649		
5.	N9	190	2,6147		
6.	DUA1	155	2,1877	2,2760	2,0718
7.	DUA3	175	2,4651		
8.	DUA5	135	1,8897		
9.	DUA6	165	2,3142		
10.	DUA9	180	2,5235	2,1364	8,0817
11.	DUB1	152	2,0649		
12.	DUB5	145	2,0235		
13.	DUB6	165	2,2821		
14.	DUB7	160	2,2257		
15.	DUB10	150	2,0856	1,9682	15,3179
16.	DUC3	145	2,0176		
17.	DUC5	135	1,8842		
18.	DUC6	125	1,7438		
19.	DUC7	140	1,9511	1,8230	21,5656
20.	DUC8	160	2,2442		
21.	DUD1	115	1,6023		
22.	DUD3	120	1,6694		
23.	DUD5	145	2,0313		
24.	DUD7	135	1,8551	1,6904	27,2696
25.	DUD10	140	1,9567		
26.	DUE2	115	1,6039		
27.	DUE5	112	1,5503		
28.	DUE6	125	1,7411		
29.	DUE9	135	1,8742		
30.	DUE10	120	1,6823		

Berdasarkan Tabel 5.18 hasil pengujian kuat tarik belah beton agregat halus daur ulang sama halnya dengan kuat tekan beton, yaitu mengalami penurunan terhadap kuat tarik beton agregat halus alami. Penurunan yang cukup tajam terjadi pada proporsi 100% penggantian agregat halus alami yaitu sebesar 27,2697% dengan nilai kuat tarik belah 1,6904 MPa terhadap kuat tarik belah agregat halus alami adalah 2,3242 MPa. Penurunan tersebut disebabkan oleh tingkat kelecakan campuran yang rendah, sehingga mengakibatkan rongga udara banyak. Bentuk agregat halus daur ulang yang pipih juga berpengaruh terhadap penurunan kuat tarik belah beton karena beton akan sulit dipadatkan. Untuk grafik kuat tarik belah agregat halus daur ulang dapat dilihat pada Gambar 5.10.



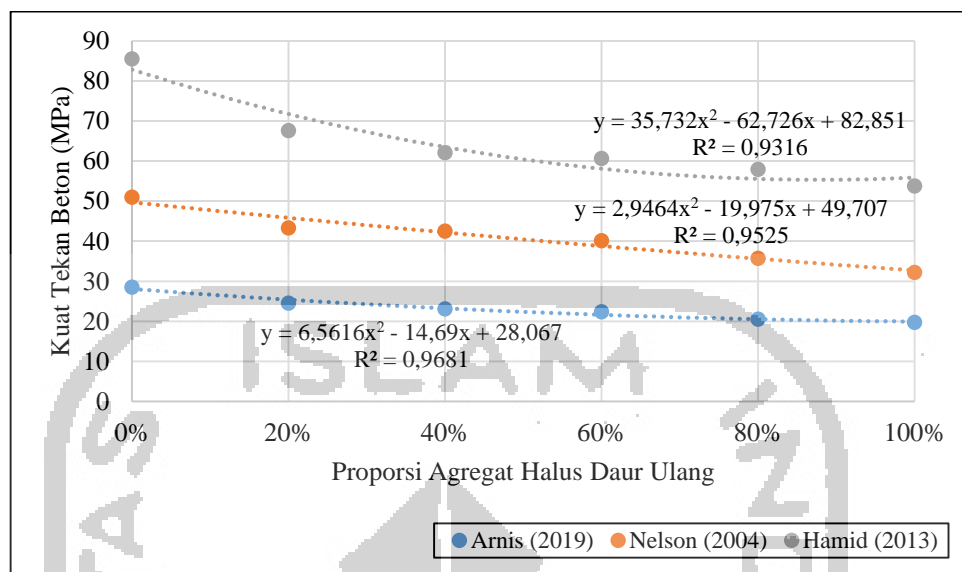
Gambar 5.10 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Agregat Halus Daur Ulang

Hasil pengujian kuat tarik belah pada masing-masing sampel beton agregat halus daur ulang dengan dengan proporsi 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% dapat dilihat pada Lampiran 4 Data Hasil Pengujian. Gambar benda uji saat

berada pada mesin penekan dan setelah dilakukan pengujian kuat tarik belah dapat dilihat pada Lampiran 3.

5.2 Pembahasan

Pengaruh penggunaan agregat halus daur ulang pada kuat tekan beton umur 28 hari mengalami penurunan pada setiap masing-masing variasi pengganti sebagian maupun seluruh agregat halus daur ulang. Hal tersebut disebabkan karena karakteristik agregat halus daur ulang yang berasal dari limbah beton mempunyai standar kualitas di bawah agregat halus alami. Dari pengujian material yang dilakukan dapat dilihat bahwa penyerapan air agregat halus daur ulang memiliki daya serap air yang tinggi serta berat jenis yang lebih rendah. Daya serap tinggi mengakibatkan tingkat kelecakan beton menjadi rendah. Kandungan kadar lumpur yang dimiliki oleh agregat halus daur ulang tinggi yang berarti semakin banyak luas permukaan butir agregat halus daur ulang yang tertutup lumpur, sehingga mengurangi bereaksinya pasta semen dengan agregat halus daur ulang yang berakibat memperkecil daya ikat dan mengurangi kuat tekan beton. Penurunan *slump* berpengaruh pada penurunan kuat tekan beton. Nilai *slump* yang rendah mengakibatkan *workability* beton juga rendah, sehingga beton menjadi berongga (keropos) yang mengakibatkan penurunan pada kuat tekan maupun kuat tarik belah beton tersebut. Penurunan kuat tekan juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Hamid dkk (2013) dan Nelson (2004). Pada penelitian tersebut mengalami penurunan kuat tekan sebesar 20,97% sampai 37,09% (Hamid dkk, 2013), serta 15% sampai 30% (Nelson, 2014). Sedangkan pada penelitian ini penurunan kuat tekan sebesar 14,167 % sampai 30,896%. Kecenderungan penurunan kuat tekan akibat agregat halus daur ulang dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut ini.



Gambar 5.11 Penurunan Kuat Tekan Akibat Agregat Halus Daur Ulang

Hasil pengujian kuat tarik belah beton agregat halus daur ulang mengalami penurunan pada proporsi 20% sampai 100% terhadap kuat tarik belah beton normal. Nilai *slump* yang rendah mengakibatkan tingkat kelecakan beton menjadi rendah juga sehingga kuat tarik mengalami penurunan. Penelitian yang dilakukan oleh Nelson (2004), terjadi penurunan kuat tarik belah pada setiap masing-masing proporsi, adanya peningkatan pada proporsi 80% ke 100% dengan mengubah nilai faktor air semen. Persentase kuat tarik belah terhadap kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.19 Persentase Kuat Tarik Belah Terhadap Kuat Tekan Beton

No.	Kode Benda Uji	Kuat Tekan Rerata (MPa)	Kuat Tarik Belah Rerata (MPa)	Persentase Kuat Tarik Terhadap Kuat Tekan (%)
1.	N	28,5626	2,3242	8,1372
2.	DUA	24,5155	2,2760	9,2841
3.	DUB	23,0984	2,1364	9,2489
4.	DUC	22,3467	1,9682	8,8074
5.	DUD	20,5078	1,8230	8,8891
6.	DUE	19,7378	1,6904	8,5642