



BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Pendahuluan

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengujian kuat tekan dan pengujian absorpsi. Sebelum dilakukan pengujian tersebut maka dilakukan pengujian kualitas material serta menentukan komposisi *mix design*. Tahapan tersebut dilakukan guna mendapatkan hasil nilai kuat tekan yang telah direncanakan yaitu $f'_c = 30$ MPa. Pada bab ini dilakukan pembahasan mengenai hasil uji material, perhitungan komposisi *mix design*, dan hasil pengujian serta pembahasan.

4.2. Pembahasan dan Hasil Pengujian Material

Pembuatan beton sangat memerlukan material dengan kualitas yang baik pengusun beton. Diperlukannya pengujian material guna mengetahui karakteristik dari material penyusun beton. Material yang dilakukan pengujian diantara lain yaitu semen, agregat kasar, dan agregat halus. Pengujian material mengacu pada standar ASTM (*American Society for Testing and Materials*) dan SNI (Standar Nasional Indonesia) yang berlaku.

Semen yang digunakan pada pembuatan beton ini yaitu Semen Gresik. Jenis semen ini yaitu PC (*Portland Cement*). Semen yang digunakan dibeli dari toko bangunan Toko Bangunan Kartika 2. Agregat Kasar yang digunakan pada penelitian ini yaitu batu pecah yang lolos saringan ukuran 19 mm. Agregat Halus yang digunakan pada penelitian ini yaitu Pasir Muntilan yang dibeli dari toko Toko Bangunan Kartika 2.

4.2.1. Pengujian material semen

Semen memiliki fungsi untuk mengikat agregat yang kemudian dapat membentuk suatu massa padat sehingga dapat mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat. Semen mempengaruhi kuat tekan pada beton dikarenakan semen adalah salah satu material hidrolik yang kemudian bereaksi secara kimia dengan air. Pengujian material dilakukan pada Laboratorium Teknologi Bahan Universitas Katolik



Soegijapranata Semarang. Pengujian yang dilakukan meliputi konsistensi normal semen, waktu ikat dan mengeras semen, berat jenis semen, dan volume semen. Pengujian semen menggunakan pedoman pada ASTM (*American Society for Testing and Materials*).

1. Konsistensi normal semen (ASTM C 187 – 86)

Percobaan konsistensi normal semen *portland* bertujuan untuk mengetahui kadar normal untuk mencari kondisi kebasahan pasta yang standar. Semen yang akan diuji menggunakan semen komposit yang berasal dari PT. Semen Gresik. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Adapun perhitungan percobaan konsistensi normal semen *portland*:

Berat semen (w_1) = 300 gram

Penurunan = 5 mm

a. Percobaan 1

$$\begin{aligned}\text{Konsistensi} &= (w_2/w_1) \times 100 \% \\ &= (80/300) \times 100 \% \\ &= 26,67 \%\end{aligned}$$

b. Percobaan 2

$$\begin{aligned}\text{Konsistensi} &= (w_2/w_1) \times 100 \% \\ &= (85/300) \times 100 \% \\ &= 28,33 \%\end{aligned}$$

c. Percobaan 3

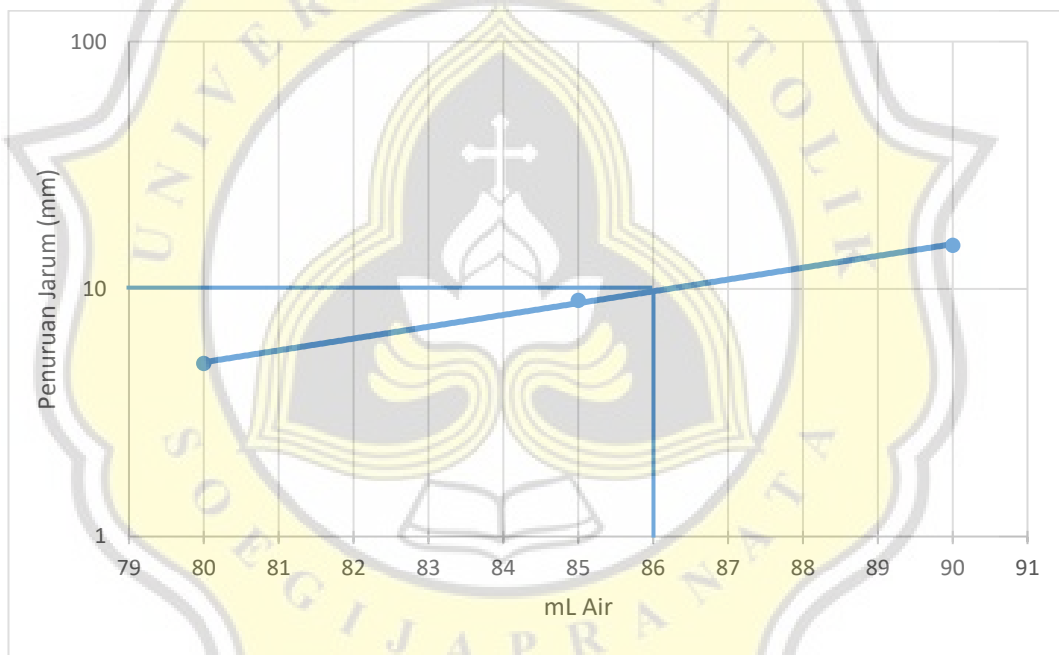
$$\begin{aligned}\text{Konsistensi} &= (w_2/w_1) \times 100 \% \\ &= (90/300) \times 100 \% \\ &= 30 \%\end{aligned}$$

Tabel 4.1 Pengujian Konsistensi Normal Semen

	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
Berat Semen (w_1)	300	300	300
Berat Air (w_2)	80	85	90
Penurunan	5 mm	9 mm	15 mm
Konsistensi ($w_2/w_1 \times 100 \%$)	26,67 %	28,33 %	30 %

Hasil pengujian untuk konsistensi semen yang dilakukan dilaboratorium diperoleh data seperti yang tertera pada Tabel 4.1 dengan menggunakan test vikat, dimana percobaan dibatasi hanya sampai pada pengamatan ke 3 dengan kadar air 90 cc dan penurunan 15 mm, karena untuk menentukan kadar air yang diharapkan berdasarkan penetrasi 10 mm tidak tercapai, maka dipakai pendekatan grafik seperti pada Gambar 4.1.

Hasil analisa pada Gambar 4.1, maka banyaknya air untuk konsistensi normal semen berdasarkan penetrasi 10 mm adalah sebanyak 86 mL yang kemudian akan dijadikan patokan jumlah atau kadar air yang digunakan pada percobaan berikutnya.



Gambar 4.1. Penurunan Jarum Vicat

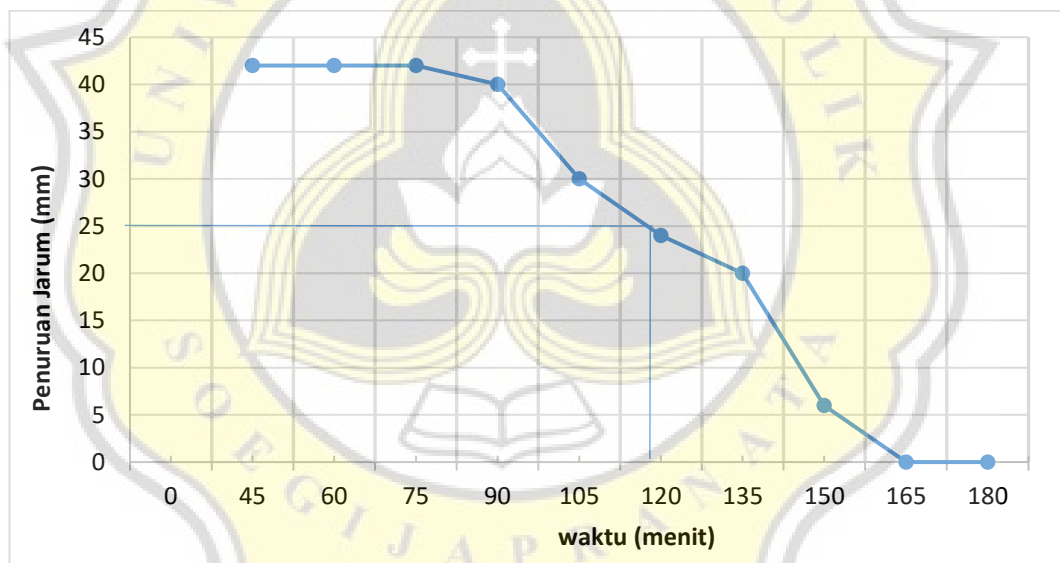
2. Waktu ikat dan mengeras semen (ASTM C 191 – 92)

Pengujian waktu mengikat dan mengeras semen bertujuan untuk menentukan waktu dari pengikatan awal semen dan pengikatan akhir semen *portland*. Semen yang akan diuji menggunakan semen komposit yang berasal dari PT. Semen Gresik. Pengujian waktu ikat dan mengeras semen dilakukan dengan interval waktu 15 menit hingga penurunan jarum tidak melebihi 5 mm. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Percobaan Waktu Pengikatan dan Pengerasan Semen

No.	Waktu Penurunan (Menit)	Penurunan (mm)
1	45	42
2	60	42
3	75	42
4	90	40
5	105	30
6	120	24
7	135	20
8	150	6
9	165	0
10	180	0

Pada penelitian ini, penetrasi jarum vikat untuk waktu ikat semen normal adalah 25 mm. Selanjutnya ditarik garis pada penetrasi jarum vikat 25 mm yang telah didapat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Penurunan Jarum Vicat Terhadap Waktu Pengikatan

Dari analisa pada Gambar 4.2, dapat diketahui waktu pengikatan awal yaitu pada penurunan 25 mm membutuhkan waktu 117 menit dan waktu pengikatan akhir (pengerasan) yaitu pada penurunan 0 mm membutuhkan waktu 165 menit.

3. Menentukan berat jenis semen (ASTM C 188 – 89)

Percobaan menentukan berat jenis semen memiliki tujuan guna menentukan berat jenis semen yang digunakan. Semen yang akan diuji menggunakan semen



komposit yang berasal dari PT. Semen Gresik. Pengujian ini dilakukan dengan cara memasukkan semen pada labu ukur yang berukuran 500 mL yang diisi dengan minyak hingga penuh. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.3. Adapun perhitungan percobaan menentukan berat jenis semen *portland*:

$$\begin{aligned} \text{Berat semen } (w_1) &= 300 \text{ gram} \\ \text{Berat semen + minyak + labu takar } (w_2) &= 790 \text{ gram} \\ \text{Berat labu takar + minyak } (w_3) &= 569 \text{ gram} \\ \text{Berat jenis} &= 0,8 \times w_1 / (w_1 + w_3 - w_2) \\ &= 0,8 \times 300 / (300 + 569 - 790) \\ &= 3,04 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis Semen

	Hasil
Berat Semen (w_1).....gram	300
Berat Labu.....gram	175
Berat Semen + minyak + labu takar (w_2)gram	790
Berat labu takar + minyak (w_3)gram	569
$B_j = 0,8 w_1 / (w_1 + w_3 - w_2)$	3,04

Tabel 4.3 melakukan dua kali percobaan dan hasil perhitungan diperoleh bahwa nilai berat jenis rata-rata semen adalah 3,04 gram/cm³ lebih kecil dari syarat batas yang diijinkan yaitu 3,70 gram/cm³ (ASTM C 188 – 89).

4. Menentukan berat volume semen (ASTM C 188 – 89)

Percobaan menentukan berat volume semen memiliki tujuan guna menentukan berat volume semen pada keadaan lepas maupun terikat. Semen yang akan diuji menggunakan semen komposit yang berasal dari PT. Semen Gresik. Berat volume semen pada keadaan dirojok dan tanpa rojokan yang telah didapat kemudian dirata-rata. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Adapun perhitungan percobaan menentukan berat volume semen *portland*:

a. Percobaan dengan rojokan

$$\begin{aligned} \text{Berat silinder } (w_1) &= 2650 \text{ gram} \\ \text{Berat silinder + semen } (w_2) &= 9460 \text{ gram} \\ \text{Berat semen } (w_2 - w_1) &= 6810 \text{ gram} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\text{Volume silinder (v)} &= 6285 \text{ liter} \\ \text{Berat volume} &= (w_2 - w_1)/v \\ &= 6810/6285 \\ &= 1,08 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

b. Percobaan tanpa rojokan

$$\begin{aligned}\text{Berat silinder (w}_1) &= 2650 \text{ gram} \\ \text{Berat silinder + semen (w}_2) &= 8340 \text{ gram} \\ \text{Berat semen (w}_2 - w_1) &= 5690 \text{ gram} \\ \text{Volume silinder (v)} &= 6288 \text{ liter} \\ \text{Berat volume} &= (w_2 - w_1)/v \\ &= 5690/6288 \\ &= 0,91 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{c. Berat volume semen rata-rata} &= \frac{(1,08+0,91)}{2} \\ &= 0,995 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Volume Semen

	Dengan Rojokan	Tanpa Rojokan
Berat silinder (w ₁)gram	2650	2650
Berat silinder + semen (w ₂)gram	9460	8340
Berat semen (w ₂ -w ₁)gram	6810	5690
Volume silinder (v).....Cm ³ (liter)	6285	6288
Berat volume (w ₂ -w ₁) / v (gr/cm ³)	1,08	0,91

Berdasarkan data dan perhitungan Tabel 4.4, berat volume semen rata-rata adalah sebesar 0,995 gram/cm³.

4.2.2. Pengujian material agregat halus

Salah satu material yang digunakan dalam menyusun beton adalah agregat halus. Agregat halus memiliki ukuran butiran lebih kecil dari 4,75 mm (no.4) (SNI 1970:2008). Berikut beberapa pengujian agregat halus kelembapan agregat halus, berat jenis agregat halus, air resapan agregat halus, berat volume agregat halus, kebersihan pasir terhadap lumpur, kadar lumpur, gradasi butiran agregat halus.



1. Kelembaban agregat halus (ASTM C 556 – 89)

Percobaan kelembaban pasir memiliki tujuan guna mengetahui kelembaban pasir dengan cara kering. Pasir yang akan diuji menggunakan pasir yang berasal dari Toko Bangunan Kartika 2. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Adapun perhitungan kelembaban pasir:

$$\begin{aligned} \text{Berat pasir asli } (w_1) &= 500 \text{ gram} \\ \text{Berat pasir oven } (w_2) &= 491 \text{ gram} \\ \text{Kelembaban pasir} &= ((w_1 - w_2)/w_2) \times 100\% \\ &= ((500 - 491)/491) \times 100\% \\ &= 1,8 \% \end{aligned}$$

Tabel 4.5 Hasil Kelembaban Agregat Halus

	Hasil
Berat pasir asli (w1).....gram	500 gr
Berat pasir oven (w2)gram	491 gr
Kelembaban pasir $((w_1 - w_2)/w_2) \times 100\%$	1,8 %

Tabel 4.5 menyatakan bahwa untuk uji kelembaban pasir dilakukan percobaan dan hasil perhitungan diperoleh bahwa nilai air resapan yaitu 1,8 %, lebih kecil dari syarat batas yang diijinkan maksimal yaitu 6 % (ASTM C 556 – 89).

2. Berat jenis agregat halus (ASTM C 128 – 93)

Percobaan berat jenis pasir memiliki tujuan guna menentukan berat jenis pasir pada keadaan SSD. Pasir yang akan diuji menggunakan pasir yang berasal dari Toko Bangunan Kartika 2. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Adapun perhitungan percobaan 1 berat jenis pasir:

$$\begin{aligned} \text{Berat labu + pasir + air } (w_1) &= 987,5 \text{ gram} \\ \text{Berat pasir SSD} &= 500 \text{ gram} \end{aligned}$$

a. Percobaan 1

$$\begin{aligned} \text{Berat labu + air } (w_2) &= 681 \text{ gram} \\ \text{Berat jenis pasir} &= 500/((500+ w_2) - w_1) \\ &= 500/((500+ 681) - 987,5) \\ &= 2,58 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$



b. Percobaan 2

$$\begin{aligned}\text{Berat labu + air } (w_2) &= 681 \text{ gram} \\ \text{Berat jenis pasir} &= 500 / ((500 + w_2) - w_1) \\ &= 500 / ((500 + 683,5) - 987,5) \\ &= 2,55 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{c. Berat jenis agregat halus rata-rata} &= \frac{(2,58 + 2,55)}{2} \\ &= 2,565 \text{ gr/cm}^3\end{aligned}$$

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

	Percobaan 1	Percobaan 2
Berat labu + pasir + air (w_1)gram	987,5	987,5
Berat pasir SSD.....gram	500	500
Berat labu + air (w_2)gram	681	683,5
Berat jenis pasir = $500 / ((500 + w_2) - w_1)$ gr/cm^3	2,58	2,55

Tabel 4.6 menyatakan bahwa untuk uji berat jenis pasir dilakukan dua kali percobaan dan hasil perhitungan diperoleh nilai berat jenis rata-rata agregat halus kondisi SSD yaitu $2,565 \text{ gr/cm}^3$. Nilai berat jenis rata-rata pasir kondisi SSD memenuhi syarat batas yang di ijinakan yaitu $2,1 - 2,6 \text{ gr/cm}^3$ (ASTM C 128 – 78).

3. Air resapan agregat halus (ASTM C 128 – 93)

Percobaan air resapan pasir memiliki tujuan guna menentukan kadar air resapan pada pasir. Pasir yang akan diuji menggunakan pasir yang berasal dari Toko Bangunan Kartika 2. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Adapun perhitungan percobaan air resapan pasir:

$$\text{Berat pasir SSD} = 500 \text{ gram}$$

a. Percobaan 1

$$\begin{aligned}\text{Berat pasir oven } (w_1) &= 491 \text{ gram} \\ \text{Kadar air resapan} &= ((500 - w_1) / w_1) \times 100\% \\ &= ((500 - 491) / 491) \times 100\% \\ &= 1,83 \%\end{aligned}$$



b. Percobaan 2

$$\text{Berat pasir oven } (w_1) = 493 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar air resapan} &= ((500-w_1)/w_1) \times 100\% \\ &= ((500-493)/493) \times 100\% \\ &= 1,41 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. Air resapan rata-rata} &= \frac{(1,83 + 1,41)}{2} \\ &= 1,62\% \end{aligned}$$

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Air Resapan Agregat Halus

	Percobaan	Percobaan
	1	2
Berat pasir SSD.....gram	500	500
Berat pasir oven (w_1)gram	491	493
Kadar air resapan = $\{(500 - w_1)/w_1\} \times 100 \%$	1,83 %	1,41 %

Tabel 4.7 menyatakan bahwa untuk uji air resapan pasir dilakukan dua kali percobaan dan hasil perhitungan diperoleh nilai air resapan pasir rata-rata yaitu 1,62%, nilai rata-rata resapan air agregat halus memenuhi syarat karena pada ASTM 128-93 bahwa batas ijin nilai resapan air agregat halus sebesar 3,5%.

4. Berat volume agregat halus (ASTM C 29 / C 29 M – 91)

Percobaan berat volume pasir memiliki tujuan guna menentukan berat volume pasir baik dalam keadaan lepas maupun padat. Pasir yang akan diuji menggunakan pasir yang berasal dari Toko Bangunan Kartika 2. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Adapun perhitungan percobaan berat volume pasir:

$$\text{Berat silinder } (w_1) = 4290 \text{ gram}$$

a. Percobaan tanpa rojokan

$$\text{Berat silinder + pasir } (w_2) = 8540 \text{ gram}$$

$$\text{Volume silinder } (v) = 5,38 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Volume} &= (w_2 - w_1) / v \\ &= (8540 - 4290) / 5,38 \\ &= 0,79 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$



b. Percobaan dengan rojokan

$$\begin{aligned}\text{Berat silinder + pasir } (w_2) &= 9800 \text{ gram} \\ \text{Volume silinder } (v) &= 5,38 \text{ cm}^3 \\ \text{Berat Volume} &= (w_2 - w_1) / v \\ &= (9800 - 4290) / 5,38 \\ &= 1,022 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

c. Berat volume rata-rata $= \frac{(0,79 + 1,022)}{2} = 0,906 \text{ gr/cm}^3$

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Halus

	Tanpa Rojokan	Dengan rojokan
Berat silinder (w_1)...kg	4290 gr	4290 gr
Berat silinder + pasir (w_2)...kg	8540 gr	9800 gr
Berat pasir (w_2-w_1)...kg	4250 gr	5510 gr
Volume silinder (v) ...liter (dm^3)	5,38 cm^3	5,38 cm^3
Berat volume ($w_2 - w_1$) / v	0,79 gr/cm^3	1,022 gr/cm^3

Tabel 4.8 didapat nilai berat volume rata-rata dari agregat halus berdasarkan pengujian tanpa rojokan dan dengan rojokan sebesar 0,906 gr/cm^3 .

5. Kebersihan agregat halus terhadap lumpur (Pengendapan)

Tes kebersihan pasir terhadap lumpur memiliki tujuan guna menentukan banyaknya kadar lumpur dalam pasir. Pasir yang akan diuji menggunakan pasir yang berasal dari Toko Bangunan Kartika 2. Kelayakan nilai kadar lumpur yaitu kurang dari 5%. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Adapun perhitungan percobaan kebersihan pasir terhadap lumpur (pengendapan):

a. Percobaan 1

$$\begin{aligned}\text{Tinggi lumpur}(h) &= 0,6 \text{ cm} \\ \text{Tinggi pasir}(H) &= 5,2 \text{ cm} \\ \text{Kadar Lumpur} &= h/H \times 100 \% \\ &= 0,6/5,2 \times 100 \% \\ &= 11,54 \%\end{aligned}$$



b. Percobaan 2

$$\begin{aligned} \text{Tinggi lumpur}(h) &= 0,2 \text{ cm} \\ \text{Tinggi pasir}(H) &= 6,3 \text{ cm} \\ \text{Kadar Lumpur} &= h/H \times 100 \% \\ &= 0,2/6,3 \times 100 \% \\ &= 3,18 \% \end{aligned}$$

Tabel 4.9 Hasil Pengendapan Agregat Halus

	Percobaan 1	Percobaan 2
Tinggi lumpur (h)	0,6	0,2
Tinggi pasir (H)	5,2	6,3
Kadar lumpur = $h/H \times 100 \%$	11,54	3,18

Tabel 4.9 didapat kadar lumpur agregat halus sebelum dicuci mendapat 11,54% sedangkan batas yang diijinkan kadar lumpur pada agregat halus tidak melebihi dari 5%. Solusi dari permasalahan ini yaitu agregat halus harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.

6. Kebersihan agregat halus terhadap lumpur (ASTM C 117 – 95)

Tes kebersihan pasir terhadap lumpur memiliki tujuan guna mengetahui kadar lumpur pasir. Perbedaan pengujian yang sebelumnya terdapat pada metodo yang digunakan. Pasir yang akan diuji menggunakan pasir yang berasal dari Toko Bangunan Kartika 2. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Adapun perhitungan percobaan kebersihan pasir terhadap lumpur:

$$\text{Berat pasir kering } (w_1) = 500 \text{ gram}$$

a. Percobaan 1

$$\begin{aligned} \text{Berat pasir bersih kering } (w_2) &= 435,5 \text{ gram} \\ \text{Kadar lumpur} &= (w_1 - w_2)/w_1 \times 100 \% \\ &= (500 - 435,5)/500 \times 100 \% \\ &= 12,9 \% \end{aligned}$$

b. Percobaan 2

$$\text{Berat pasir bersih kering } (w_2) = 436,5 \text{ gram}$$



$$\begin{aligned} \text{Kadar lumpur} &= (w_1 - w_2)/w_1 \times 100 \% \\ &= (500 - 436,5)/500 \times 100 \% \\ &= 12,7 \% \\ \text{c. Kebersihan agregat halus rata-rata} &= \frac{(12,9 + 12,7)}{2} = 12,8\% \end{aligned}$$

Tabel 4.10 Kebersihan Agregat Halus Terhadap Lumpur

	Percobaan	Percobaan
	1	2
Berat pasir kering (w_1).....gram	500 gr	500 gr
Berat pasir bersih kering (w_2)gram	435,5 gr	436,5 gr
Kadar lumpur = $(w_1 - w_2)/w_1 \times 100 \%$	12,9 %	12,7 %

Tabel 4.10 didapatkan kadar lumpur agregat halus rata-rata didapat 12,8% sedangkan batas yang diijinkan kadar lumpur pada agregat halus tidak melebihi dari 5%. Solusi dari permasalahan ini yaitu agregat halus harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.

7. Analisa saringan agregat halus (Modul Praktikum Mekanika Tanah I Unika Soegijapranata)

Percobaan analisa saringan pasir bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butir/gradasi pasir. Hasil pengujian analisa saringan pasir dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Adapun perhitungan analisa saringan pasir:

$$\begin{aligned} \text{No. saringan} &= 4 \\ \text{Ukuran saringan} &= 4,75 \text{ mm} \\ \text{Berat tertahan} &= 0 \text{ gram} \\ \% \text{ tertahan} &= \frac{0}{500} \times 100\% = 0\% \\ \% \text{ lolos} &= 100\% - 0\% = 100\% \end{aligned}$$



Tabel 4.11 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

No. Saringan	Diameter Saringan (mm)	Berat Saringan (gram)	Berat Tanah Dan Saringan (gram)	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	% Lolos	Gradasi	
							Min (%)	Maks (%)
4	4,75	438,4	438,4	0	0	100	100	100
8	2	419	442,4	23,4	4,68	95,32	90	100
16	1,18	421,2	499	77,8	15,56	79,76	60	100
30	0,6	419,6	559,5	139,9	27,98	51,78	30	90
50	0,3	406,4	516,4	110	22	29,78	15	59
100	0,150	400,6	513	112,4	22,48	7,3	5	30
200	0,075	333,8	364,4	30,6	6,12	1,18	0	10
Pan	-	268,4	273,8	5,4	1,08	0	0	0

Perhitungan uji saringan agregat halus selengkapnya dapat dilihat pada L-25.

4.2.3. Pengujian agregat kasar

Agregat kasar atau kerikil merupakan hasil disintegrasi 'alami' dari batuan atau merupakan batu pecah yang dihasilkan oleh industri pemecah batu. Agregat kasar memiliki ukuran butiran antara 4,75 mm (No.4) hingga 40 mm (No. 1½) (SNI 1970:2008). Pengujian material agregat kasar terdiri dari kelembaban agregat kasar, berat jenis agregat kasar, air resapan agregat kasar, berat volume agregat kasar, kebersihan agregat kasar terhadap lumpur, gradasi agregat kasar, dan keausan agregat kasar.

1. Kelembaban agregat kasar (ASTM C 556 – 89)

Percobaan kelembaban batu pecah memiliki tujuan guna mengetahui kelembaban batu pecah dengan cara kering. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Adapun perhitungan percobaan kelembaban batu pecah:

$$\text{Berat batu pecah asli (} w_1 \text{)} = 500 \text{ gram}$$

a. Percobaan 1

$$\text{Berat batu pecah oven (} w_2 \text{)} = 487,5 \text{ gram}$$

$$\text{Kelembaban batu pecah} = (w_1 - w_2) / w_2 \times 100 \%$$

$$= (500 - 487,5) / 500 \times 100 \% = 2,56 \%$$



b. Percobaan 2

$$\begin{aligned} \text{Berat batu pecah oven } (w_2) &= 485,5 \text{ gram} \\ \text{Kelembaban batu pecah} &= (w_1 - w_2)/w_2 \times 100 \% \\ &= (500-485,5)/500 \times 100 \% \\ &= 2,90 \% \end{aligned}$$

c. Kelembaban agregat kasar rata-rata $= \frac{(2,56 + 2,90)}{2} = 2,73\%$

Tabel 4.12 Hasil Kelembaban Agregat Kasar

	Percobaan 1	Percobaan 2
Berat Batu pecah asli (w1)....gram	500	500
Berat Batu pecah oven (w2)....gram	487,5	485,5
Kelembaban Batu pecah = $(w_1 - w_2)/w_2 \times 100 \%$	2,56 %	2,9 %

Tabel 4.12 didapatkan nilai kelembaban batu pecah rata-rata 2,73 %. Berdasarkan ASTM C556-89 syarat batas yang ditentukan, yaitu 3% sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat kasar yang digunakan memenuhi syarat.

2. Berat jenis agregat kasar (ASTM C 127 – 88)

Percobaan berat jenis batu pecah memiliki tujuan guna mengetahui berat jenis batu pecah dalam keadaan SSD. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Contoh perhitungan percobaan berat jenis batu pecah:

$$\begin{aligned} \text{Berat batu pecah di udara } (w_1) &= 3000 \text{ gram} \\ \text{Berat batu pecah di air } (w_2) &= 1884,5 \text{ gram} \\ \text{Berat jenis batu pecah} &= w_1/(w_1-w_2) \\ &= 3000/(3000 - 1884,5) \\ &= 2,69\% \end{aligned}$$

Tabel 4.13 Berat Jenis Agregat Kasar

	Hasil
Berat Batu pecah di udara (w ₁)....gram	3000 gr
Berat Batu pecah di air (w ₂)....gram	1884,5 gr
Berat jenis Batu pecah = $w_1/(w_1-w_2)$gram	2,69 gr



Berat jenis batu pecah 2,69 gr, sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat kasar yang digunakan memenuhi syarat batas yang ditentukan yaitu 2,3 gr – 2,75gr (ASTM C 127-88).

3. Air resapan agregat kasar (ASTM C 127 – 88)

Percobaan air resapan batu pecah memiliki tujuan guna menentukan kadar air resapan batu pecah. Pengujian air resapan dilakukan dengan membandingkan agrgat kasar setelah dioven selama 24 jam dan agregat kasar dalam keadaan kering. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.14. Adapun perhitungan percobaan air resapan batu pecah:

Berat batu pecah SSD = 3000 gram

a. Percobaan 1

Berat batu pecah (w) = 2900 gram

Kadar air resapan = $(3000 - w)/w \times 100\%$
= $(3000 - 2900)/2900 \times 100\%$
= 3,3 %

b. Percobaan 2

Berat batu pecah (w) = 2920 gram

Kadar air resapan = $(3000 - w)/w \times 100\%$
= $(3000 - 2920)/2920 \times 100\%$
= 2,7 %

c. Air resapan agregat kasar rata-rata = $\frac{(2,56 + 2,90)}{2} = 3\%$

Tabel 4.14 Air Resapan Agregat Kasar

	Percobaan 1	Percobaan 2
Berat Batu pecah SSD..gram	3000 gr	3000 gr
Berat Batu pecah (w)...gram	2900 gr	2920 gr
Kadar air resapan = $(3000 - w)/w \times 100\%$	3,3 %	2,7 %

Tabel 4.14 didapat kadar air resapan rata-rata 3 %, sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat kasar yang digunakan memenuhi syarat batas yang ditentukan yaitu 3% (ASTM C 127-88).



4. Berat volume agregat kasar (ASTM C 29 / C 29 M – 91a)

Percobaan berat volume batu pecah memiliki tujuan guna menentukan berat volume batu pecah baik dalam keadaan lepas maupun padat. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.15. Adapun perhitungan percobaan berat volume batu pecah:

$$\text{Berat silinder } (w_1) = 2,65 \text{ kg}$$

a. Percobaan tanpa rojokan

$$\text{Berat silinder + batu pecah } (w_2) = 9,87 \text{ kg}$$

$$\text{Berat batu pecah } (w_2 - w_1) = 7,22 \text{ kg}$$

$$\text{Volume silinder } (v) = 5,38 \text{ liter}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat volume} &= (w_2 - w_1) / v \\ &= 7,22 / 5,38 \\ &= 1,34 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

b. Percobaan dengan rojokan

$$\text{Berat silinder + batu pecah } (w_2) = 10,4 \text{ kg}$$

$$\text{Berat batu pecah } (w_2 - w_1) = 7,75 \text{ kg}$$

$$\text{Volume silinder } (v) = 5,38 \text{ liter}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat volume} &= (w_2 - w_1) / v \\ &= 7,75 / 5,38 \\ &= 1,44 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{c. Berat volume agregat kasar rata-rata} = \frac{(1,34 + 1,44)}{2} = 1,39 \text{ gr/cm}^3$$

Tabel 4.15 Hasil Berat Volume Agregat Kasar

	Tanpa Rojokan	Dengan Rojokan
Berat silinder (w_1)...kg	2,65	2,65
Berat silinder + batu pecah (w_2)....kg	9,87	10,4
Berat batu pecah ($w_2 - w_1$)....kg	7,22	7,75
Volume silinder(v)...liter (dm^3)	5,38	5,38
Berat volume $w_2 - w_1$)/ vkg/liter	1,34	1,44

Tabel 4.15 didapatkan berat volume rata-rata dari agregat kasar 1,39 gr/cm³, memenuhi syarat batas menurut ASTM C29-91 yaitu 1,35 gr/cm³-1,75 gr/cm³



5. Kebersihan agregat kasar terhadap lumpur (pencucian) (ASTM C 117- 95)

Test kebersihan batu pecah terhadap lumpur bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur batu pecah. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.16. Adapun perhitungan percobaan kebersihan batu pecah terhadap lumpur:

Berat kering sebelum dicuci (w_1) = 1000 gram

a. Percobaan 1

Berat kering sesudah dicuci (w_2) = 996 gram

Kadar lumpur = $(w_1 - w_2) / w_1 \times 100\%$
= 0,4 %

b. Percobaan 2

Berat kering sesudah dicuci (w_2) = 995 gram

Kadar lumpur = $(w_1 - w_2) / w_1 \times 100\%$
= 0,5 %

c. Kadar lumpur agregat kasar rata-rata = $\frac{0,4 + 0,5}{2} = 0,45\%$

Tabel 4.16 Hasil Uji Kadar Lumpur Agregat Kasar

	Percobaan 1	Percobaan 2
Berat kering sebelum dicuci (w_1)...gram	1000 gr	1000 gr
Berat kering sesudah dicuci (w_2)..gram	996 gr	995 gr
Kadar lumpur = $(w_1 - w_2) / w_1 \times 100\%$	0,4%	0,5%

Tabel 4.16 dijelaskan bahwa untuk uji kadar lumpur batu pecah dilakukan dua kali percobaan dan hasil perhitungan diperoleh bahwa nilai kadar lumpur batu pecah yang dihasilkan adalah 0,45%. Dimana hasil yang didapat lebih kecil dari syarat batas maksimum yang diijinkan yaitu 1 %. Jadi kadar lumpur pada percobaan ini memenuhi, Batu pecah bisa langsung dipakai tanpa harus di cuci terlebih dahulu (ASTM C 117 – 95).

6. Keausan agregat kasar

Test keausan agregat bertujuan untuk mengetahui kadar keausan batu pecah. Pengujian keausan agregat kasar menggunakan mesin *los angeles*. Hasil dari



pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.17. Adapun perhitungan percobaan keausan agregat kasar:

$$\begin{aligned} \text{Berat awal batu pecah } (w_1) &= 3000 \text{ gram} \\ \text{Berat akhir batu pecah } (w_2) &= 2180 \text{ gram} \\ \text{Berat batu pecah yang hancur } (w_3) &= 820 \text{ gram} \\ \text{Kadar keausan} &= w_3/w_1 \times 100\% \\ &= 820/3000 \times 100\% \\ &= 27,3\% \end{aligned}$$

Tabel 4.17 Hasil Uji Kadar Keausan Agregat Kasar

	Hasil
Berat Awal Batu Pecah (w_1)	3000 gr
Berat Akhir Batu Pecah (w_2)	2180 gr
Berat Batu Pecah yang hancur (w_3)	820 gr
Kadar Keausan $820/3000 \times 100\%$	27,3 %

Tabel 4.17 diketahui kadar keausan batu pecah adalah 27,3%, memenuhi syarat batas yang ditentukan yaitu maksimum 50%.

7. Analisa saringan agregat kasar

Percobaan analisa saringan batu pecah untuk menentukan distribusi ukuran butiran/gradasi Batu pecah. Pengujian analisa saringan agregat kasar dibantu menggunakan alat *sieve shaker*. Hasil pengujian analisa saringan batu pecah dapat dilihat pada Tabel 4.18. Adapun perhitungan analisa saringan batu pecah:

$$\begin{aligned} \text{No. saringan} &= 3/2 \\ \text{Ukuran saringan} &= 37,50 \text{ mm} \\ \text{Berat tertahan} &= 0 \text{ gram} \\ \% \text{ tertahan} &= \frac{0}{500} \times 100\% = 0\% \\ \% \text{ lolos} &= 100\% - 0\% = 100\% \end{aligned}$$



Tabel 4.18 Hasil Analisis Saringan Agregat Kasar

Nomor saringan	Diameter saringan (mm)	Berat saringan (gr)	Berat kerikil + saringan (gr)	Berat tertahan (gr)	Persentase tertahan (%)	Persentase lolos (%)
3/2	37,50	562,80	562,80	0,00	0,00	100
3/4	19,00	571,50	571,50	0,00	0,00	100
3/8	9,50	411,50	2.455,00	2.043,50	68,12	31,88
4	4,75	440,00	1.304,00	864,00	28,80	3,08
8	2,36	418,50	498,00	79,50	2,65	0,43
16	1,18	421,00	421,00	0,00	0,00	0,43
30	0,60	419,50	421,00	1,50	0,05	0,38
50	0,30	407,00	408,50	1,50	0,05	0,33
100	0,150	401,00	403,50	2,50	0,08	0,25
200	0,075	269,00	273,00	4,00	0,13	0,12
Pan	-	268,40	271,50	3,10	0,10	0,10
kumulatif				2999,6		

Perhitungan uji saringan agregat kasar selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 25.

4.3. Perencanaan *Mix Design*

Mencari desain campuran (*mix design*) beton dengan mengacu pada SNI 03-2834-2000 untuk didapatkan perbandingan material sehingga nilai kuat tekan rencana mencapai f'_c 30 MPa. Pembuatan benda uji untuk pengujian kuat tekan menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan jumlah benda uji sebanyak 12 buah. Adapun perencanaan campuran beton berdasarkan SNI 03-2834-2000 sebagai berikut:

- Menetapkan kuat tekan beton (f'_c) pada umur 28 hari

Kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari adalah 30 MPa

- Menetapkan nilai deviasi standar (S) yaitu 7 MPa

Tabel 4.19 Nilai Deviasi Standar untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pengerjaan

Tingkat Pengendalian Mutu Pengerjaan	Sd (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa Kendali	8,4

Sumber: SNI 03-2834-2000



Deviasi standar didapatkan berdasarkan volume pembetonan yang akan dibuat dan pekerjaan. Nilai deviasi standar yang digunakan dalam perencanaan campuran ini sebesar 7 MPa yaitu pada tingkat pengendalian mutu pekerjaan jelek karena belum mempunyai pengalaman sebelumnya.

c. Menghitung nilai tambah

Nilai tambah yang digunakan dapat dihitung berdasarkan SNI 03-2834-2000

$$\begin{aligned}M &= 1,64 \times S = 1,64 \times 7 \\ &= 11,48 \text{ MPa} \approx 12 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Perhitungan diatas didapatkan nilai tambah sebesar 12 MPa.

d. Menghitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr})

Menghitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr}) dapat dihitung:

$$\begin{aligned}f'_{cr} &= f'_c + M = 30 + 12 \\ &= 42 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Perhitungan diatas didapatkan kuat tekan beton rata-rata sebesar 42 MPa.

e. Menentukan jenis semen yang digunakan

Semen yang digunakan adalah jenis semen tipe 1 yaitu jenis semen *portland* yang digunakan pada pekerjaan konstruksi umum.

f. Menentukan jenis agregat halus yang digunakan

Jenis agregat yang digunakan adalah agregat halus alami dan agregat kasar batu pecah.

g. Menentukan ukuran jenis agregat kasar yang digunakan

Agregat kasar ukuran 20 mm.

h. Menentukan nilai faktor air semen

Penentuan nilai faktor semen menggunakan grafik hubungan antara kuat tekan rata-rata dan faktor air semen berdasarkan umur benda uji dan jenis semen sebagai berikut

h.1. Perkiraan kekuatan tekan dapat dilihat pada Tabel 4.20.

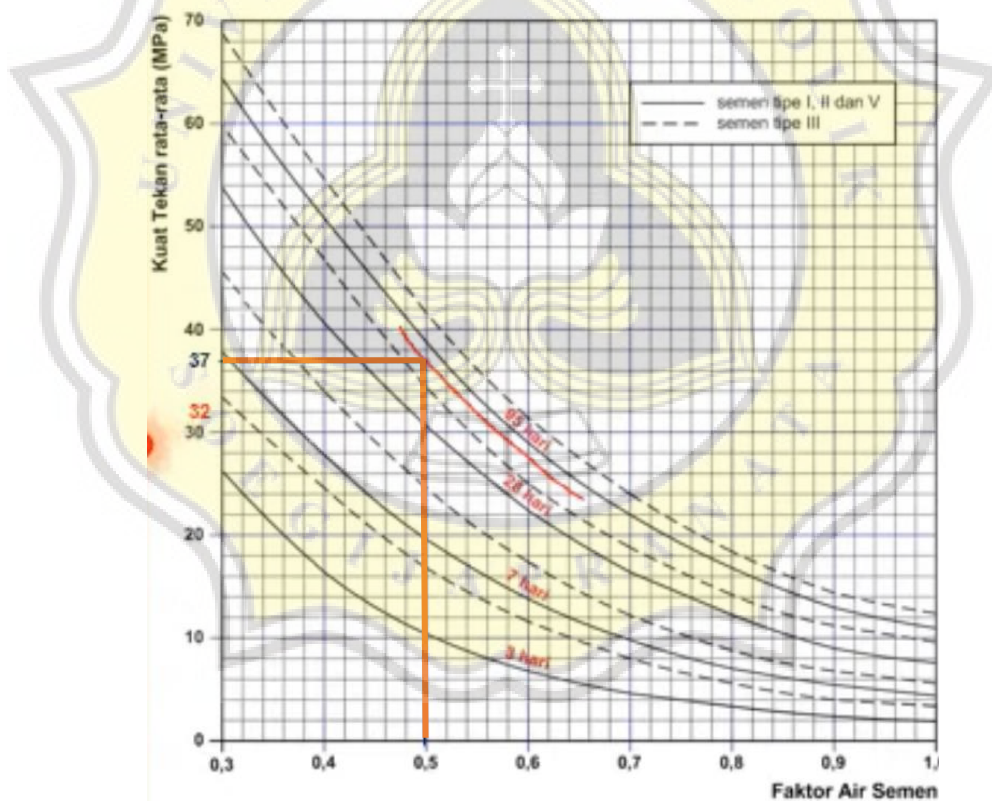
Tabel 4.20 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton Dengan Faktor Air Semen 0,5 dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai Di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Benda Uji
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe I	Batu Tidak Dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu Pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu Tidak Dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu Pecah	23	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu Tidak Dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
		25	33	44	48	
	Batu Pecah	25	31	46	53	Kubus
		30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000

Berdasarkan Tabel 4.20 didapatkan kekuatan tekan yaitu sebesar 37 MPa.

h.2. Kemudian dapat dilihat pada Gambar 4.3 mengenai hubungan antara kuat tekan rata-rata dan faktor air semen menggunakan benda uji berbentuk silinder



Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

h.3. Membuat garis tegal lurus ke arah atas melalui faktor air semen 0,5 hingga memotong kurva, selanjutnya membuat garis lurus ke kanan dari angka kuat tekan sebesar 37 MPa hingga garis menyentuh garis warna merah



- h.4. Kemudian membuat garis lengkung melalui titik perpotongan dari h.2 secara proporsional
- h.5. Selanjutnya membuat garis lurus ke kanan dari angka f'_{cr} sebesar 42 MPa hingga menyentuh garis lengkung (kurva baru) yang sudah dibuat atau ditentukan dari h.3 di atas
- h.6. Kemudian buat garis lurus kebawah melalui titik perpotongan tersebut lalu dari garis tersebut mendapatkan nilai fas sebesar 0,46.
- i. Menentukan nilai faktor air semen maksimum
- Setelah ditentukan nilai fas pada Gambar 4.3, selanjutnya dilakukan penentuan faktor air semen (fas) maksimum seperti dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Persyaratan fas dan Jumlah Semen Minimum Untuk Berbagai Pembetonan dan Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum per m ³ Beton (kg)	Nilai fas maksimum
Beton didalam ruangan bangunan		
c. Keadaan keliling non-korosif	275	0,6
d. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton diluar ruangan bangunan		
c. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,6
d. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,6
Beton masuk kedalam tanah		
c. Mengalami keadaan basa dan kering berganti-ganti	325	0,55
d. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut		

Sumber: SNI 03-2834-2000

Nilai faktor air semen maksimum yang didapat dari Tabel 4.21 yaitu sebesar 0,6 dengan jenis pembetonan didalam ruang bangunan dengan keadaan keliling non-korosif

- j. Menetapkan nilai slump

Tinggi nilai *slump* yang ditetapkan sebesar 60 mm – 180 mm.

- k. Menetapkan ukuran besar butir agregat maksimum



Ukuran besar butir agregat maksimum yang digunakan sebesar 20 mm.

k.1. Menetapkan kadar air bebas

Kadar air bebas dapat ditentukan pada Tabel 4.22, dengan menggunakan data ukuran agregat maksimum, jenis batuan, serta *slump* rencana. Setelah mendapatkan hasil perkiraan kebutuhan air per m³ beton.

Tabel 4.22 Perkiraan Kebutuhan Air Per m³ Beton

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834-2000

Nilai kadar air bebas dapat dihitung berdasarkan SNI 03-2834-2000 seperti:

$$\begin{aligned}W &= \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \\ &= \left(\frac{2}{3} \times 195\right) + \left(\frac{1}{3} \times 225\right) \\ &= 205 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Perhitungan diatas didapatkan nilai kadar air bebas sebesar 205 kg/m³.

l. Menghitung kebutuhan semen

Jumlah kebutuhan semen dapat dihitung berdasarkan SNI 03-2834-2000 seperti:

$$W_{\text{semen}} = \frac{205}{0,5} = 410 \text{ kg/m}^3$$

Perhitungan diatas jumlah kebutuhan semen sebesar 410 kg/m³.

m. Menetapkan kebutuhan semen yang digunakan

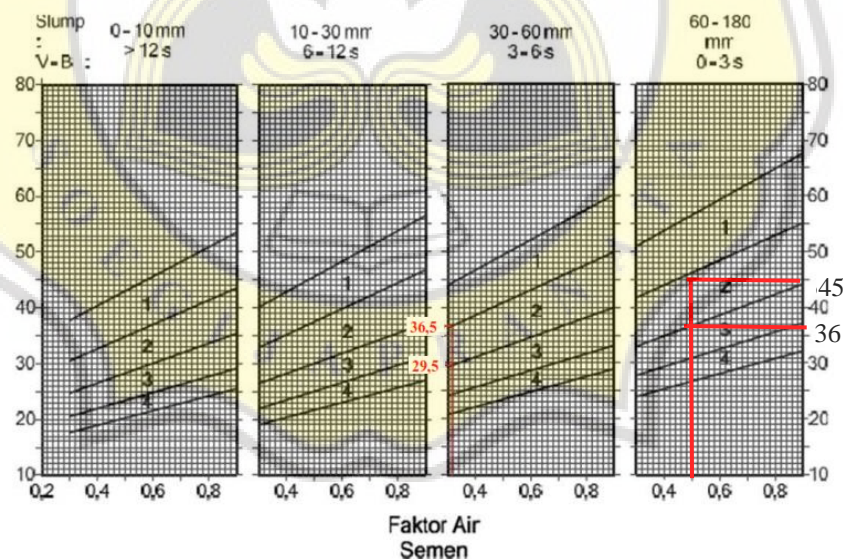
Setelah menghitung kebutuhan semen, perlu mencari kebutuhan semen minimum dengan melihat pada Tabel 4.21. dari tabel diatas mendapatkan kebutuhan semen minimumnya sebesar 275 kg. Jika kebutuhan semen yang diperoleh berdasarkan perhitungan ternyata lebih sedikit dari pada kebutuhan semen minimum, maka yang digunakan adalah kebutuhan semen dengan nilai yang terbesar.

n. Menentukan presentasi agregat halus dan kasar

Persentase jumlah agregat ditentukan dengan besar ukuran maksimum agregat kasar, nilai *slump*, faktor air semen, dan daerah gradasi agregat halus. Ukuran butir maksimum yang digunakan yaitu 20 mm dan *slump* yang digunakan adalah 60 mm – 180 mm. Selain itu digunakan gradasi daerah nomor 2 yang dihasilkan dari pengujian modulus halus butir agregat halus.

- n.1. Tarik garis tegak lurus keatas melalui fas yang sudah didapatkan sebelumnya sebesar 0,46 sampai memotong kurva bagian atas pada daerah gradasi nomer 2
- n.2. Selanjutnya dari titik perpotongan batas lengkung kua atas dan batas lengkung kurva bawah pada daerah gradasi nomor 2, ditarik garis mendatar kekiri sampai memotong sumbu tegak
- n.3. Hasil dari penarikan garis atas dan garis bawah tersebut didapatkan angka yaitu sebesar 45% dan 36%.

Persentase pasir terhadap total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Presentase Agregat Halus dan FAS
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

- n.4. Menghitung nilai persentase agregat halus dan agregat kasar sebagai berikut:

$$\%AH = \frac{45\% + 36\%}{2} = 40,5\%$$

$$\begin{aligned}\%AK &= 100\% - \%AH \\ &= 100\% - 40,5\% = 59,5\%\end{aligned}$$

Perhitungan diatas didapatkan persentase agregat halus (%AH) sebesar 40,5% dan agregat kasar (%AK) sebesar 59,5%.

o. Menghitung berat jenis SSD agregat gabungan

Berat jenis SSD agregat halus dan agregat kasar diketahui melalui pengujian berat jenis agregat halus dan agregat kasar. Pengujian berat jenis tersebut maka didapatkan angka berat jenis agregat halus (BJ_{AH}) sebesar 2,64 dan berat jenis agregat kasar (BJ_{AK}) sebesar 2,69.

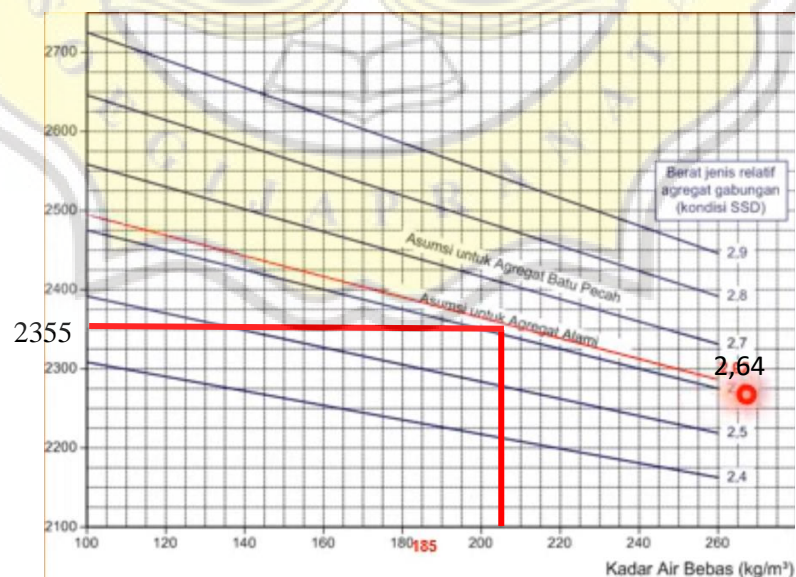
Berat jenis agregat gabungan dapat dihitung berdasarkan SNI 03-2834-2000 seperti:

$$\begin{aligned}BJ_{gabungan} &= \%AH \times BJ_{AH} + \%AK \times BJ_{AK} \\ &= 40,5 \times 2,64 + 59,5 \times 2,6 \\ &= 2,62\end{aligned}$$

Perhitungan diatas didapatkan berat jenis gabungan sebesar 2,62.

p. Menentukan berat isi beton

Berat isi beton basah dapat ditentukan berdasarkan Gambar 4.5 dengan memasukan berat jenis agregat gabungan dan kadar air bebas.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Berat Volume Beton Segar dengan Jumlah Air
(Sumber: SNI 03-2834-2000)



- p.1. Membuat kurva baru sesuai dengan berat jenis agregat gabungan secara proporsional dengan memperhatikan kurva sebelah atas dan bawahnya
- p.2. Kemudian tarik garis tegak lurus keatas dari nilai kadar air yang digunakan 205 kg/m^3 hingga memotong kurva baru berat jenis gabungan
- p.3. Kemudian dari titik potong ditarik garis mendatar kearah kiri hingga memotong sumbu tegak
- p.4. Melalui oenarikan gars tersebut didapatkan nilai berat isi beton sebesar 2355 kg/m^3

Perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai didapatkan dapat dilihat pada Gambar 4.5.

- q. Menghitung proporsi campuran beton

Proporsi campuran yang dihitung yaitu proporsi campuran kebutuhan material penyusun beton.

$$\begin{aligned}W_{AH} &= (W_{\text{isi beton basah}} - W_{\text{semen}} - W_{\text{air}}) \times \%AH \\ &= (2355 - 445,65 - 205) \times 40,5 \\ &= 690,26 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_{AK} &= W_{\text{isi beton basah}} - W_{\text{semen}} - W_{\text{air}} \times \%AK \\ &= (2355 - 445,65 - 40,5) \times 59,5 \\ &= 1014,09 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Perhitungan diatas didapatkan nilai berat agregat halus (W_{AH}) sebesar $690,26 \text{ kg/m}^3$ dan nilai berat agregat kasar (W_{AK}) sebesar $1014,09 \text{ kg/m}^3$.

- r. Proporsi campuran beton untuk 1 m^3 beton

Setelah melalui tahapan yang dilakukan maka didapatkan proporsi campuran 1 m^3 beton yang terdapat pada Tabel 4.23. Berdasarkan contoh perhitungan yang sama maka MD2 didapatkan seperti pada Tabel 4.24.

Tabel 4.23 Proporsi Campuran 1 m^3 untuk MD1

Material	Proporsi Campuran (kg/m^3)
Semen <i>portland</i>	445,65
Air	205
Agregat halus	690,26
Agregat kasar	1014,09

Tabel 4.24 Proporsi Campuran 1 m³ untuk MD2

Material	Proporsi Campuran (kg/m ³)
Semen <i>portland</i>	500 kg/m ³
Air	225 kg/m ³
Agregat halus	680 kg/m ³
Agregat kasar	1280 kg/m ³

4.4. Pembahasan dan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton *Trial Mix Design*

Trial mix design yang digunakan pada pengujian kuat tekan dan absorpsi digunakan dua jenis *mix design* untuk *trial*. Hasil pengujian kuat tekan untuk MD1 dan MD2 dapat dilihat pada Tabel 4.25 dan Tabel 4.26.

Tabel 4.25 Hasil Kuat Tekan MD1

Nomor benda uji	Umur beton	Berat beton (kg)	Gaya tekan (kN)	Kuat tekan (MPa)
MD 1.1	7	12,83	340	19,25
MD 1.2	7	12,84	300	16,99
MD 1.3	7	12,80	170	9,63
MD 1.4	14	12,80	410	23,21
MD 1.5	14	12,65	300	16,99
MD 1.6	14	12,87	290	16,42
MD 1.7	28	12,61	400	22,65
MD 1.8	28	12,94	450	25,47
MD 1.9	28	12,69	450	25,47

Tabel 4.26 Hasil Kuat Tekan MD2

Nomor benda uji	Umur beton	Berat beton (kg)	Gaya tekan (kN)	Kuat tekan (MPa)
MD 2.1	7	12,79	190	10,76
MD 2.2	7	12,95	350	19,82
MD 2.3	7	12,92	400	22,65
MD 2.4	14	12,88	400	22,65
MD 2.5	14	12,87	360	20,39
MD 2.6	14	12,82	350	19,80
MD 2.7	28	12,85	520	29,44
MD 2.8	28	12,94	470	26,61
MD 2.9	28	12,93	440	24,91

Hasil Tabel 4.25 untuk MD1 didapatkan hasil rata-rata umur beton pada 28 hari 24,53 MPa dan hasil Tabel 4.26 MD2 hasil rata-rata umur beton pada 28 hari 26,99 MPa. Sehingga pada penelitian ini menggunakan MD2. Pada pencampuran materian adonan beton pada tahap *trial* menggunakan mesin pengaduk sehingga



berpengaruh pada jumlah komposisi material tiap benda uji. Dari permasalahan tersebut didapatkan solusi saat pengecoran benda uji dilakukan secara manual satu per satu, sehingga komposisi tiap benda uji sama.

4.5. Pembahasan dan Hasil Pengujian Kuat Tekan

Setelah dilakukan trial mix design, kemudian dilakukan pembuatan benda uji dengan perbandingan material MD2. Pembuatan benda uji dilakukan pada tanggal 27 September 2021 – 2 Oktober 2021 serta pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Universitas Katolik Soegijapranata Semarang. Pada penelitian ini pengujian kuat tekan dilakukan pada Laboratorium Teknologi Bahan Universitas Katolik Soegijapranata Semarang menggunakan alat *Universal Testing Machine*. Pengujian kuat tekan beton didapatkan beban maksimum pada saat benda uji mengalami keruntuhan akibat adanya beban. Pembahasan dan hasil sebagai berikut:

4.5.1. Hasil pengujian kuat tekan beton

Kuat tekan beton yang direncanakan pada umur beton 28 hari yaitu 30 MPa. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 28 hari dan 56 hari. Pengujian kuat tekan beton mengacu pada SNI 1974:2011. Perendaman dilakukan saat sebelum dilakukan pengujian kuat tekan beton. Perendaman yang dilakukan terdapat 2 jenis air yaitu 6 buah pada air laboratorium Unika dan 6 buah pada air laut. Berikut merupakan perhitungan hasil uji kuat tekan yang telah dilakukan.

a. Beton Perendaman Air laboratorium Unika

a.1. Perhitungan luas penampang dari silinder (A)

$$\begin{aligned} A &= 0,25 \times \pi \times D^2 \\ &= 0,25 \times 3,14 \times 150^2 \\ &= 17662,5 \text{ mm}^2 \\ &= 1766,25 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Keterangan:

A : Luas penampang benda uji (cm²)

π : Konstanta (3,14)

D : Diameter benda uji silinder (mm)



a.2. Perhitungan kuat tekan benda uji

a.2.1. Perendaman Air laboratorium Unika 28 hari 1

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{gaya tekan maksimum} \times 100}{A} \\ &= \frac{530 \times 1000}{17662,5} \\ &= 30 \text{ MPa} \end{aligned}$$

a.2.2. Perendaman Air laboratorium Unika 28 hari 2

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{gaya tekan maksimum} \times 100}{A} \\ &= \frac{535 \times 1000}{17662,5} \\ &= 30,29 \text{ MPa} \end{aligned}$$

a.2.3. Perendaman Air laboratorium Unika 28 hari 3

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{gaya tekan maksimum} \times 100}{A} \\ &= \frac{520 \times 1000}{17662,5} \\ &= 29,44 \text{ MPa} \end{aligned}$$

a.2.4. Perendaman Air laboratorium Unika 56 hari 4

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{gaya tekan maksimum} \times 100}{A} \\ &= \frac{620 \times 1000}{17662,5} \\ &= 35,10 \text{ MPa} \end{aligned}$$

a.2.5. Perendaman Air laboratorium Unika 56 hari 5

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{gaya tekan maksimum} \times 100}{A} \\ &= \frac{640 \times 1000}{17662,5} \\ &= 36,23 \text{ MPa} \end{aligned}$$

a.2.6. Perendaman Air laboratorium Unika 56 hari 6

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{gaya tekan maksimum} \times 100}{A} \\ &= \frac{650 \times 1000}{17662,5} \\ &= 36,80 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Berdasarkan perhitungan tersebut maka diketahui rata-rata kuat tekan dari 6 benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.27

Tabel 4.27 Rata-Rata Kuat Tekan Beton Perendaman laboratorium Unika

Jenis Beton	Luas (mm ²)	Ukuran Silinder	Umur	Berat (kg)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata
Air Unika 1	17662,5	Ø 15 , t = 30	28	12,63	530	30	
Air Unika 2	17662,5	Ø 15 , t = 30	28	12,53	535	30,29	29,91
Air Unika 3	17662,5	Ø 15 , t = 30	28	12,66	520	29,44	
Air Unika 4	17662,5	Ø 15 , t = 30	56	12,83	550	31,13	
Air Unika 5	17662,5	Ø 15 , t = 30	56	12,48	530	30	30,94
Air Unika 6	17662,5	Ø 15 , t = 30	56	12,62	560	31,7	

Berdasarkan Tabel 4.27 beton yang direndam pada air laboratorium Unika pada umur 28 hari memiliki rata-rata kuat tekan 29,91 MPa. Beton yang direndam pada air laboratorium Unika pada umur 56 hari mengalami peningkatan kuat tekan menjadi 31,95 MPa.

b. Beton Perendaman Air Laut

b.1. Perhitungan luas penampang dari silinder (A)

$$\begin{aligned} A &= 0,25 \times \pi \times D^2 \\ &= 0,25 \times 3,14 \times 150^2 \\ &= 17662,5 \text{ mm}^2 \\ &= 1766,25 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Keterangan:

A : Luas penampang benda uji (cm²)

π: Konstanta (3,14)

D : Diameter benda uji silinder (mm)

b.2. Perhitungan kuat tekan benda uji

$$\begin{aligned} \text{b.2.1. Perendaman Air Laut 28 hari 1} &= \frac{\text{gaya tekan maksimum} \times 100}{A} \\ &= \frac{480 \times 1000}{17662,5} \\ &= 27,18 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{b.2.2. Perendaman Air Laut 28 hari 2} &= \frac{\text{ gaya tekan maksimum} \times 100}{A} \\ &= \frac{440 \times 1000}{17662,5} \\ &= 25 \text{ MPa} \\ \text{b.2.3. Perendaman Air Laut 28 hari 3} &= \frac{\text{ gaya tekan maksimum} \times 100}{A} \\ &= \frac{450 \times 1000}{17662,5} \\ &= 25,48 \text{ MPa} \\ \text{b.2.4. Perendaman Air Laut 56 hari 4} &= \frac{\text{ gaya tekan maksimum} \times 100}{A} \\ &= \frac{350 \times 1000}{17662,5} \\ &= 19,86 \text{ MPa} \\ \text{b.2.5. Perendaman Air Laut 56 hari 5} &= \frac{\text{ gaya tekan maksimum} \times 100}{A} \\ &= \frac{320 \times 1000}{17662,5} \\ &= 18,12 \text{ MPa} \\ \text{b.2.6. Perendaman Air Laut 56 hari 6} &= \frac{\text{ gaya tekan maksimum} \times 100}{A} \\ &= \frac{470 \times 1000}{17662,5} \\ &= 26,61 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut maka diketahui rata-rata kuat tekan dari 6 benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.28

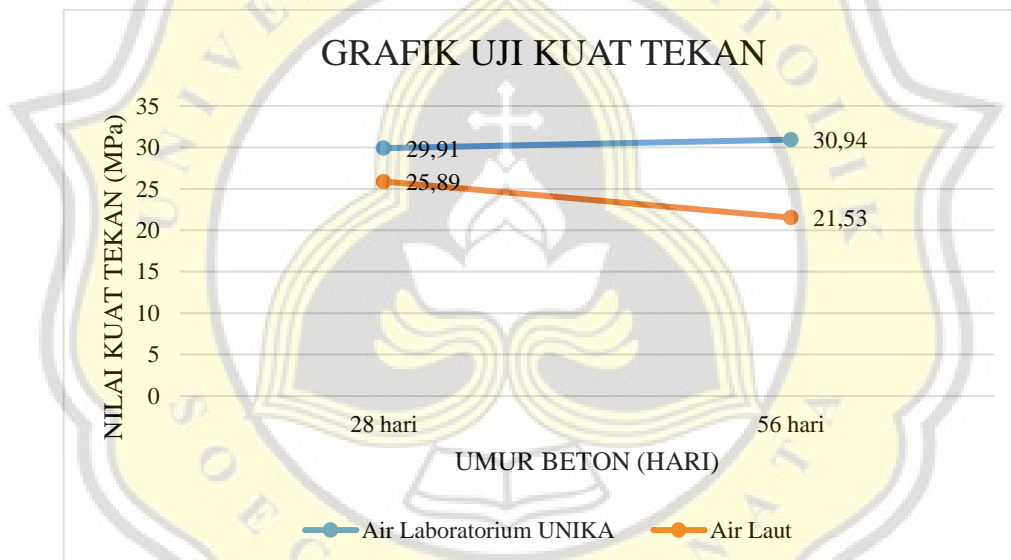
Tabel 4.28 Rata-Rata Kuat Tekan Beton Perendaman Air Laut

Jenis Beton	Luas (mm ²)	Ukuran Silinder	Umur	Berat (kg)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata
Air Laut 1	17662,5	Ø 15 , t = 30	28	12,58	480	27,18	
Air Laut 2	17662,5	Ø 15 , t = 30	28	12,51	440	25	25,89
Air Laut 3	17662,5	Ø 15 , t = 30	28	12,47	450	25,48	
Air Laut 4	17662,5	Ø 15 , t = 30	56	12,51	350	19,86	
Air Laut 5	17662,5	Ø 15 , t = 30	56	12,48	320	18,12	21,53
Air Laut 6	17662,5	Ø 15 , t = 30	56	12,73	470	26,61	

Berdasarkan Tabel 4.28 beton yang direndam pada air laut pada umur 28 hari memiliki rata-rata kuat tekan 25,86 MPa. Beton yang direndam pada air laut pada umur 56 hari mengalami penurunan kuat tekan menjadi 21,53 MPa.

4.5.2. Pembahasan pengujian kuat tekan beton

Tabel 4.27 dan Tabel 4.28 menampilkan data hasil uji kuat tekan beton pada umur 28 hari dan 56 hari. Perendaman juga dibedakan menjadi 2 yaitu perendaman menggunakan air laboratorium Unika dan air laut. Benda uji perendaman menggunakan air laboratorium Unika sebanyak 6 buah dan benda uji perendaman air laut sebanyak 6 buah. Grafik hubungan antara uji kuat tekan beton dengan umur beton ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Umur Beton

Setelah dilakukan pengujian, didapatkan hasil uji kuat tekan beton yang dapat dilihat pada Tabel 4.27 dan Tabel 4.28. Disimpulkan bahwa nilai kuat tekan beton yang di rendam menggunakan air laboratorium UNIKA memiliki nilai kuat tekan beton yang lebih tinggi dibanding beton yang direndam menggunakan air laut.

Beton umur 56 hari yang direndam menggunakan air laboratorium Unika, mengalami kenaikan kuat tekan beton sebesar 3,44%. Sedangkan beton umur 56 hari yang direndam menggunakan air laut, mengalami penurunan kuat tekan beton sebesar 16,84%.



Garam-garam yang terkandung dalam air laut dapat bereaksi secara kimiawi dengan semen sehingga mengubah atau memperlambat proses pengikatan semen, jenis-jenis garam lainnya dapat mengurangi kekuatan beton. Selain adanya reaksi kimia antara semen dan air laut, kristalisasi garam dalam rongga beton dapat mengakibatkan kehancuran karena adanya tekanan kristalisasi. Air laut dapat masuk ke dalam beton dengan adanya gaya kapiler, sehingga serangan terjadi jika air laut dapat masuk ke dalam rongga beton (Syamsuddin, dkk., 2011).

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Saputra dan Hepiyanto (2017), mendapatkan hasil kuat tekan beton dengan perendaman air PDAM lebih besar dibanding kuat tekan beton dengan perendaman air laut. Dari kesimpulan tersebut mendukung hasil penelitian yang penulis telah lakukan. Perendaman beton dengan air laut memperlihatkan bahwa air laut sangat mempengaruhi kualitas beton yang ditinjau terhadap kuat tekan. Kuat tekan rencana yang tidak tercapai disebabkan karena adanya reaksi kimia yang terjadi pada beton dengan kandungan yang ada pada air laut. Kandungan senyawa air laut menyerang struktur ikatan beton sehingga menyebabkan penurunan nilai kuat tekan.

Berdasarkan Islam, dkk., (2010) menyatakan bahwa ion klorida dapat menurunkan kekuatan beton. Perendaman menggunakan air laut menyebabkan kuat tekan beton lebih kecil dibanding dengan beton yang direndam menggunakan air laboratorium UNIKA dapat disimpulkan bahwa kondisi lingkungan air berpengaruh terhadap sifat mekanis beton.

4.6. Pembahasan dan Hasil Pengujian Absorpsi

Penilaian terhadap laju aliran fluida yang masuk ke dalam beton dan salah satu pengujian yang dapat digunakan untuk mengetahui sifat permeabilitas beton adalah laju absorpsi. Sebelum melakukan pengujian absorpsi beton dikeringkan terlebih dahulu. Pengujian absorpsi dilakukan pada tanggal 1 November 2021 – 8 November 2021. Data yang didapat dari pengujian ini yaitu penambahan massa. Jumlah benda uji dengan perendaman air laboratorium Unika sebanyak 3 buah dan yang direndam menggunakan air laut sebanyak 3 buah.



4.6.1. Hasil pengujian absorpsi

Pada penelitian ini pengujian absorpsi dilakukan pada Laboratorium Universitas Katolik Soegijapranata menggunakan nampan yang alasnya telah diberikan penyangga berupa sumpit untuk beton. Beton yang telah dilakukan perendaman selama 28 hari dikeringkan terlebih dahulu yang kemudian dilapisi resin epoksi pada sekeliling sisi serta bagian atasnya. Hasil pengujian absorpsi didapatkan penambahan berat beton setelah dilakukan perendaman beberapa saat. Tahapan dalam perhitungan dari hasil pengujian absorpsi dapat dilihat sebagai berikut.

a. Beton Perendaman Air laboratorium Unika

a.1. Data diameter, tinggi dan berat setelah *sealed*

Tabel data diameter, tinggi dan berat setelah *sealed* air laboratorium UNIKA dapat dilihat pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Data Diameter, Tinggi dan Berat Setelah *Sealed* Air laboratorium Unika

	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Berat benda uji (gram)
N1	10	5,5	998
N2	10	5,5	987,1
N3	10	5,5	908,2

a.2. Data penambahan massa

Data penambahan massa dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Data Penambahan Massa Air laboratorium Unika

Waktu	N1 (gram)	N2 (gram)	N3 (gram)
1 menit	1004,2	994,9	915,3
5 menit	1006	998,1	917,3
10 menit	1008,5	1001,7	920,2
20 menit	1009,6	1004,8	921,5
30 menit	1011,8	1006,5	922,4
60 menit	1013,6	1008,7	924,3
2 jam	1015,2	1011	926,1
3 jam	1016	1012,8	929
4 jam	1018,6	1013,8	930,6



Waktu	N1 (gram)	N2 (gram)	N3 (gram)
5 jam	1021,1	1016,5	932
6 jam	1022,6	1017,6	932,4
30 jam	1031,6	1028,5	945,2
54 jam	1033,3	1030,2	946,4
78 jam	1034	1031,1	948,6
102 jam	1035,7	1033,6	950,1
126 jam	1036,2	1034,8	953,3
150 jam	1036,2	1035,1	954,2
174 jam	1036,2	1035,1	954,2

a.3. Perhitungan angka absorpsi

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 100^2 \\ &= 7850 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$d = 1 \text{ gram/mm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{a.3.1. } I(N1) &= \frac{m_t}{a/d} \\ &= \frac{1036,2-1004,2}{7850/1} \\ &= 0,0041 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{a.3.2. } I(N2) &= \frac{m_t}{a/d} \\ &= \frac{1035,1-994,9}{7850/1} \\ &= 0,0051 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{a.3.3. } I(N3) &= \frac{m_t}{a/d} \\ &= \frac{954,2-915,3}{7850/1} \\ &= 0,0049 \end{aligned}$$

Hasil dan rata-rata pengujian absorpsi untuk 6 benda uji beton yang direndam menggunakan air laboratorium Unika dapat dilihat pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Hasil dan Rata-Rata Pengujian Absorpsi Perendaman Air laboratorium Unika



	Hasil Pengujian	Rata-rata hasil pengujian
N1	0,0041	
N2	0,0051	0,0047
N3	0,0049	

Sehingga didapatkan rata-rata hasil untuk benda uji yang dilakukan perendaman pada air laboratorium Unika adalah 0,0047.

b. Beton Perendaman Air Laut

b.1. Data diameter, tinggi dan berat setelah *sealed* Air Laut

Tabel data diameter, tinggi dan berat setelah *sealed* air laut dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Data Diameter, Tinggi Dan Berat Setelah *Sealed* Air Laut

	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Berat benda uji (gram)
L1	10	5,5	972,1
L2	10	5,5	964,3
L3	10	5,5	955,3

b.2. Data penambahan massa

Data penambahan massa dapat dilihat pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33 Data Penambahan Massa Air Laut

Waktu	L1 (gram)	L2 (gram)	L3 (gram)
1 menit	978,7	972,8	963,6
5 menit	982,5	976,8	968,6
10 menit	984,5	979	970,8
20 menit	986,7	981,8	973,5
30 menit	988,6	983,5	975,2
60 menit	991,7	985,8	978,6
2 jam	995,6	988,7	981,6
3 jam	997,3	990,3	984,3
4 jam	998,7	991,9	986,1
5 jam	1000,8	992,8	987,5
6 jam	1001,8	993,8	988,7
30 jam	1013,1	1005	997,7



Waktu	L1 (gram)	L2 (gram)	L3 (gram)
54 jam	1016,6	1006,9	999,1
78 jam	1018,2	1007,9	1000,2
102 jam	1020,3	1011	1001,9
126 jam	1020,6	1011,9	1002,8
150 jam	1020,6	1011,9	1002,8
174 jam	1020,6	1011,9	1002,8

b.3. Perhitungan angka absorpsi

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 100^2 \\ &= 7850 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$d = 1 \text{ gram/mm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{b.3.1. } I(L1) &= \frac{m_t}{a/d} \\ &= \frac{1020,6-978,7}{7850/1} \\ &= 0,0053 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b.3.2. } I(L2) &= \frac{m_t}{a/d} \\ &= \frac{1011,9-972,8}{7850/1} \\ &= 0,0049 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b.3.3. } I(L3) &= \frac{m_t}{a/d} \\ &= \frac{1002,8-963,6}{7850/1} \\ &= 0,0049 \end{aligned}$$

Hasil dan rata-rata pengujian absorpsi untuk 6 benda uji beton yang direndam menggunakan air laut dapat dilihat pada Tabel 4.34

Tabel 4.34 Hasil dan Rata-Rata Pengujian Absorpsi Perendaman Air Laut

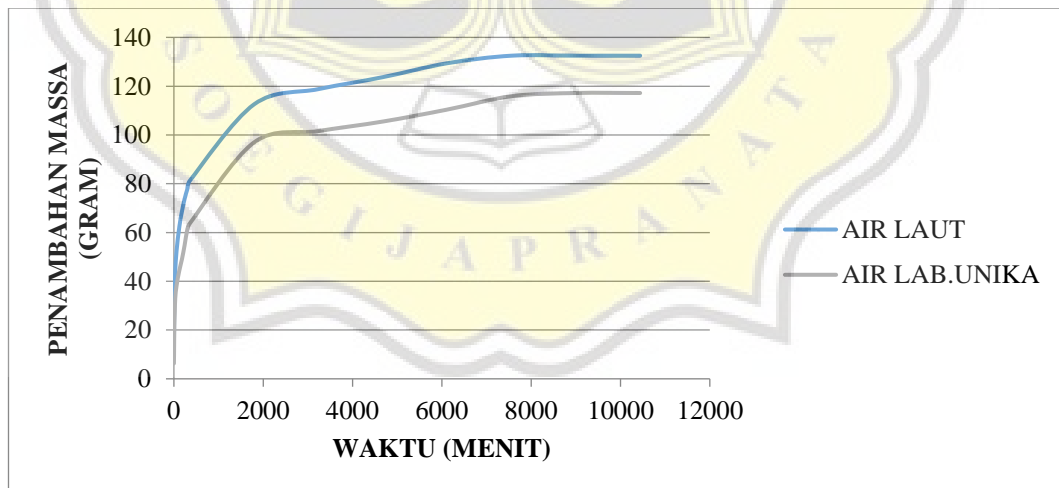
	Hasil Pengujian	Rata-rata hasil pengujian
L1	0,0053	0,0051
L2	0,0049	
L3	0,0049	

Sehingga didapatkan rata-rata hasil untuk benda uji yang dilakukan perendaman pada air normal adalah 0,0051.

4.6.2. Pembahasan pengujian absorpsi

Pengujian absorpsi dilakukan pada tanggal 1 November 2021 selesai pada tanggal 8 November 2021. Sebelum dilakukan pengujian pada hari ke 28 perendaman beton dilap setelah itu dimasukkan kedalam oven. Benda uji masuk ke dalam oven selama 3 hari dengan suhu $\pm 80^{\circ}\text{C}$. Kemudian melakukan penimbangan massa setiap benda uji dengan waktu yang sudah ditentukan.

Pada pengujian ini benda uji di bedakan menjadi 2 dengan perbedaan air perendamannya. Benda uji dengan perendaman air laboratorium Unika terdapat 3 buah dan yang menggunakan air laut sebanyak 3 buah. Penilaian terhadap laju aliran fluida yang masuk ke dalam beton dan salah satu pengujian yang dapat digunakan untuk mengetahui sifat permeabilitas beton adalah laju absorpsi. Pengujian absorpsi yang dihitung pada penelitian ini yaitu penambahan massa tiap beberapa waktu. Data hasil pengujian dihitung menggunakan rumus persamaan 2.2. Grafik hasil angka absorpsi pada tiap sample dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Hasil Angka Absorpsi

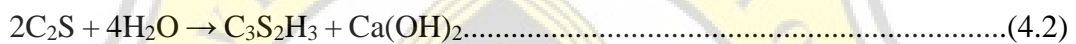
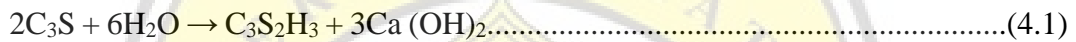
Gambar 4.7 menunjukkan bahwa nilai angka absorpsi untuk beton dengan perendaman air laboratorium Unika lebih rendah dibanding perendaman menggunakan air laut. Hal ini mendukung penelitian sebelumnya oleh Hunggurami,



(2014) juga telah melakukan penelitian dengan hasil yang sama yaitu nilai absorpsi beton perendaman air laut lebih tinggi dibanding air PDAM.

Menurut Gunawan, dkk., (2018) menyatakan bahwa proses hidrasi yang terjadi pada semen dimulai dari bagian terluar yang terkena air pertama kali. Setelah bagian terluar dari semen terkena air maka kemudian secara bertahap terhidrasi hingga mencapai bagian inti semen. Proses hidrasi semen yang terjadi sangatlah kompleks, sehingga reaksi kimia tidak dapat diketahui dengan rinci.

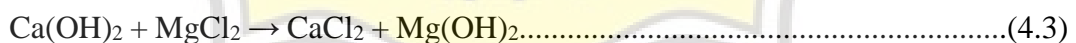
Berdasarkan Sutandar (2013) proses hidrasi semen sangat kompleks, tidak semua reaksi bisa diketahui secara rinci. Rumus kimia untuk reaksi hidrasi dari senyawa C_3S dan C_2S dapat ditulis sebagai berikut:



Hasil hidrasi dari senyawa C_3S dan C_2S yaitu mikro kristalin hidrat $C_3S_2H_3$ dan sedikit kapur yang terpisah dari kristalin $Ca(OH)_2$, senyawa C_2S juga memiliki reaksi yang sama, namun terdapat kandungan kapur yang lebih sedikit.

Senyawa yang terkandung di dalam air laut terutama ion klorida yang dapat masuk ke dalam beton sehingga terbentuknya Garam Friedls ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$) yang menyebabkan naiknya kemampuan penyerapan air.

Menurut Mehta, (1986) bahwa senyawa $MgCl_2$ setelah bereaksi dengan senyawa $Ca(OH)_2$ dari hidrat semen, akan menghasilkan *Calcium Clorida* ($CaCl_2$) yang larut merembes dalam beton sebagian sehingga menyebabkan berkurangnya kualitas material menjadi lebih lunak penjabaran reaksi kimia ditulis seperti berikut:



Tampilan *ettringite* atau Calcium Aluminat Sulfat ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$) yang mengembang biasanya dianggap serangan sulfat. *Ettringite* dan *gypsum* ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), memiliki 20% dari besar volume kristal pori-pori beton. Kristal tersebut akan menimbulkan tegangan bagian dalam beton, kemudian mengakibatkan timbul retak di permukaan beton, dan dikenal sebagai serangan sulfat yang lunak, retakan berasal dari bentuk mengembang dari *ettringite*.



Munurut Ikomudin dkk., (2016) kondisi lingkungan memiliki pengaruh pada ketahanan beton berfungsi sebagai material utama. Kondisi lingkungan seperti laut rentan tercemar zat kimia yang dapat mempengaruhi ketahanan beton.

Jenis air pada lingkungan sekitar memiliki pengaruh terhadap absorpsi beton. Dapat disimpulkan bahwa senyawa yang terdapat pada air laut memperbesar pori-pori beton, semakin besar pori-pori beton semakin banyak air yang dapat masuk ke dalam beton yang beresiko merusak beton itu sendiri sehingga menurunkan nilai kuat tekan beton dan memperbesar nilai absorpsi.

Nilai rata-rata absorpsi untuk perendaman air laboratorium Unika sebesar 0,0047 sedangkan nilai rata-rata absorpsi dengan perendaman menggunakan air laut sebesar 0,0051. Nilai absorpsi pada beton dengan perendaman air laut lebih besar dari pada nilai absorpsi pada perendaman air laboratorium Unika. Beton yang bersentuhan langsung dengan lingkungan laut akan memiliki nilai absorpsi yang lebih besar dibandingkan dengan beton yang berada pada lingkungan normal. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa lingkungan sekitar beton memiliki pengaruh secara langsung terhadap durabilitas beton.

Semakin angka absorpsi besar pada beton, maka beton cenderung kurang awet dibanding beton yang memiliki angka absorpsi yang kecil. Hal ini terjadi karena angka absorpsi yang tinggi, maka masuknya air pada sekitar beton dapat lebih mudah. Semakin kecil angka absorpsi, maka beton akan lebih kedap air atau pori-pori pada beton kecil, beton yang tidak kedap air atau yang berpori-pori besar akan mempunyai kekuatan yang lebih rendah dibanding dengan beton yang kedap air. (Syamsuddin, dkk., 2011)

Infrastuktur yang sering terkena air laut salah satunya adalah tetrapod. Tetrapod memiliki ketahanan terhadap sulfat karena pada pembuatannya menggunakan bahan tambah yang dapat tahan terhadap sulfat dan pembuatannya dilakukan menggunakan alat vibrator yang berfungsi sebagai pemadat campuran material yang berada di dalam cetakan. Pada penelitian ini menggunakan beton tanpa bahan tambah sehingga kurang tahan terhadap sulfat. Saran agar beton dapat tahan terhadap sulfat dapat menggunakan *fly ash* yang dapat dicampurkan kedalam beton



seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Indriyanto, dkk., (2020) dan Fatimah, dkk (2018).

