

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Data yang didapat dari suatu penelitian harus dianalisis dan dibahas terlebih dahulu untuk memperoleh hasil yang direncanakan. Pada penelitian ini dilakukan beberapa proses yaitu pemeriksaan material penyusun beton, *mix design*, pengujian kuat tekan dan pengujian kuat tarik belah beton. Seluruh rangkaian penelitian dalam Tugas Akhir ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

5.2 Pemeriksaan Material Penyusun Beton

Pada pemeriksaan material penyusun beton akan diperoleh data material seperti berat jenis dan penyerapan air, berat isi gembur dan padat agregat, modulus halus butir agregat, serta kandungan lumpur pada agregat. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat dan karakteristik material yang akan digunakan pada penelitian. Hasil dari pengujian material penyusun beton harus memenuhi persyaratan sebelum dilakukan *mix design*.

5.2.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Clereng. Pemeriksaan yang dilakukan pada agregat halus meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus, pengujian analisa saringan agregat halus, pengujian berat volume padat dan gembur agregat halus dan pengujian lolos saringan no.200 (uji kandungan lumpur dalam pasir).

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dilaksanakan dan dianalisis berdasarkan SNI 03-1970-1990. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut ini.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil 1	Hasil 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	488,7	485,4	487,05
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1124,7	1182,9	1153,8
Berat piknometer berisi air, gram (B)	813,8	872,3	843,05
Berat jenis curah, $Bk / (B + 500 - Bt)$	(1) 2,584	2,563	2,574
Berat jenuh kering muka, $500 / (B + 500 - Bt)$	(2) 2,644	2,64	2,642
Berat jenis semu $Bk / (B + Bk - Bt)$	(3) 2,749	2,777	2,763
Penyerapan air, $(500 - Bk) / Bk \times 100\%$	(4) 2,31%	3,01%	2,66%

Hasil pengujian berat jenis agregat halus pada Tabel 5.1 dapat dilihat nilai berat jenis jenuh kering muka adalah sebesar 2,642 dan penyerapan air rata-rata sebesar 2,66%. Menurut Tjokrodinuljo (1992) sebuah berat jenis agregat normal berada diantara 2,5-2,7 sehingga agregat halus yang digunakan pada penelitian termasuk berat jenis agregat normal.

2. Pengujian analisa saringan agregat halus

Pengujian analisa saringan agregat halus dilakukan untuk mendapatkan nilai modulus halus butir (MHB) agregat. Metode yang digunakan yaitu SNI 03-1968-1990. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2 sebagai berikut ini.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Lubang saringan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00				
20,00				
10,00	0,00	0,00	0,00	100,00
4,80	11,5	0,58	0,58	99,42
2,40	109,1	5,46	6,03	93,97
1,20	258,2	12,91	18,94	81,06
0,60	658,4	32,92	51,87	48,13
0,30	601	30,05	81,92	18,08
0,15	293,4	14,67	96,59	3,41
Sisa	68,2	3,41		0,00
Jumlah	1999,8	100,00	255,92	

Berdasarkan data dari Tabel 5.2, maka dapat dihitung nilai modulus halus butir sebagai berikut.

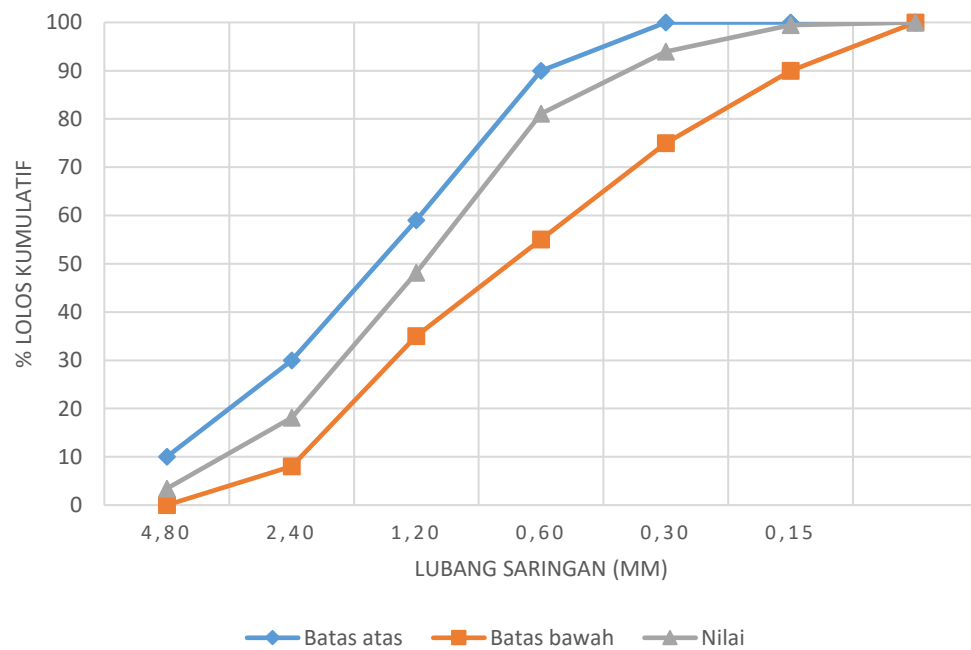
$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\Sigma \text{ Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{255,92}{100} \\
 &= 2,559
 \end{aligned}$$

Menurut Tjokrodimuljo (1992) nilai modulus halus butir agregat mempunyai nilai antara 1,5 sampai 3,8. Pada pengujian ini diperoleh nilai modulus halus butir sebesar 2,559 berarti memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Selain menentukan nilai modulus halus butir, pengujian ini digunakan juga untuk mengetahui gradasi agregat halus. Daerah gradasi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Daerah Gradasi Agregat Halus

No Saringan	Lubang Saringan (mm)	Persen bahan butiran yang lewat saringan			
		Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
4	4,8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
8	2,4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
16	1,2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
30	0,6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
50	0,3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
100	0,15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

Berdasarkan Tabel 5.3 agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan gradasi daerah II dengan jenis pasir agak kasar. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen bahan butiran yang lewat saringan gradasi daerah II dapat dilihat pada Gambar 5.1.

**Gambar 5.1 Batas Gradasi Agregat Halus Daerah II**

3. Pengujian berat volume padat dan gembur agregat halus

Pelaksanaan pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus menggunakan metode SNI 03-4804-1998. Hasil pengujian berat volume padat dan berat volume gembur dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil
Berat tabung, gram (w1)	10900
Berat tabung + Agregat kondisi jenuh, gram (w2)	19800
Berat Agregat, gram (w3)	8900
Volume tabung, cm ³ (V)	5287,1595
Berat volume padat, gram/cm ³ (W3/V)	1,6833

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil
Berat tabung, gram (w1)	10900
Berat tabung + Agregat kondisi jenuh, gram (w2)	18400
Berat Agregat, gram (w3)	7500
Volume tabung, cm ³ (V)	5287,1595
Berat volume gembur, gram/cm ³ (W3/V)	1,4185

Berat volume padat pada agregat halus yang disyaratkan pada beton normal berkisar 1,5-1,8. Berdasarkan hasil analisa perhitungan berat volume diperoleh nilai berat volume padat agregat halus 1,6833 dan nilai berat volume gembur agregat halus 1,4185, sehingga berat volume padat agregat halus yang digunakan telah memenuhi persyaratan.

4. Pengujian lolos saringan no. 200 (uji kandungan lumpur dalam pasir)

Pengujian lolos saringan no.200 (uji kandungan lumpur dalam pasir) dilaksanakan menggunakan metode dari SNI 03-4142-1996. Hasil pengujian lolos saringan no. 200 dapat dilihat pada Tabel 5.6

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200 (Uji Kandungan Lumpur)

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven, gram (w1)	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci, gram (w2)	494,4	480,1	487,3
Berat yang lolos saringan no. 200, % [(w1 - w2) / w1] x 100%	1,12	3,98	2,55

Berdasarkan hasil pengujian lolos saringan no.200 didapatkan nilai kadar lumpur rata-rata sebesar 2,55%. Menurut SNI 03-4428-1997 agregat halus yang bisa digunakan untuk bahan bangunan yang memiliki kadar lumpur tidak lebih dari 5%, sehingga memenuhi persyaratan yang ditentukan.

5.2.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Clereng. Pemeriksaan yang dilakukan pada agregat kasar meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, pengujian analisa saringan agregat kasar, pengujian berat volume padat dan gembur agregat kasar.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air

Pengujian berat jenis dan penyerapan air dilaksanakan menggunakan metode SNI 03-1969-1990. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4943,1	4939	4941,1

Lanjutan Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata- rata
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD) , gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3074	3053	3063,5
Berat jenis curah, Bk / (Bj - Ba) (1)	2,5665	2,5367	2,5515
Berat jenuh kering muka, Bj / (Bj - Ba) (2)	2,5961	2,5681	2,5820
Berat jenis semu, Bk / (Bk - Ba) (3)	2,6446	2,6188	2,6316
Penyerapan air, (Bj - Bk) / Bk x 100% (4)	1,15%	1,24%	1,19%

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar menunjukkan nilai berat jenis jenuh kering muka sebesar 2,5820 dan penyerapan air sebesar 1,19%. Menurut Tjokrodimuljo (1992), berat jenis agregat normal berada diantara 2,5-2,7, sehingga berat jenis agregat kasar termasuk jenis agregat normal.

2. Pengujian analisa saringan agregat kasar

Pengujian analisa saringan agregat kasar dilaksanakan berdasarkan metode SNI 03-1968-1990. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai modulus halus butir (MHB). Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar

Lubang saringan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0,00	0,00	100,00
20	204,4	4,09	4,09	95,91
10	2022,7	40,46	44,54	55,46
4,8	2645,7	52,92	97,46	2,54
2,4	15,1	0,30	97,76	2,24
1,2	0	0,00	97,76	
0,6	0	0,00	97,76	
0,3	0	0,00	97,76	
0,15	0	0,00	97,76	
Pan	111,9	2,24		
Jumlah	4999,8	100,00	634,90	

Berdasarkan Tabel 5.8 maka diperoleh nilai modulus halus butir (MHB) yang diperoleh sebagai berikut.

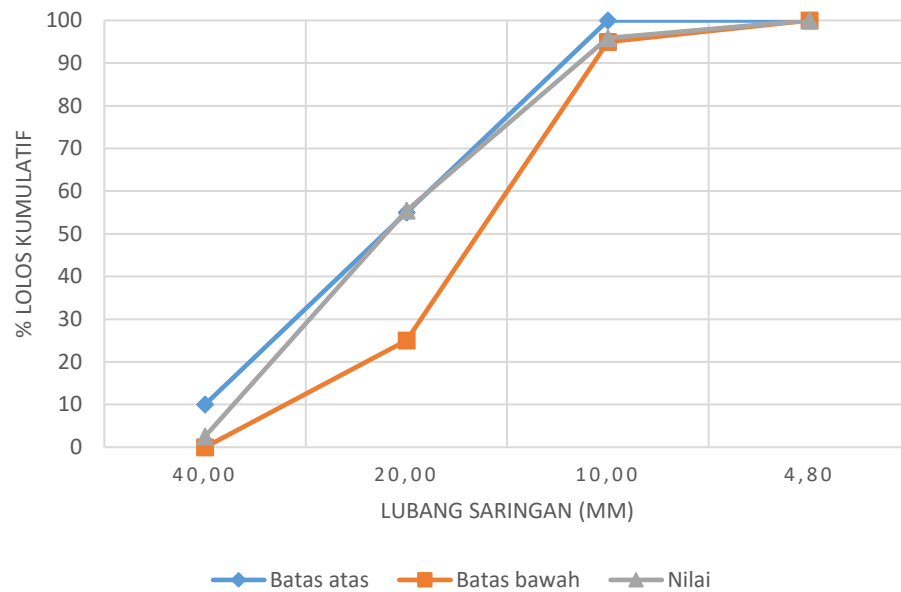
$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\Sigma \text{ Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{634,90}{100} \\
 &= 6,3490
 \end{aligned}$$

Nilai modulus halus butir agregat kasar yang didapatkan adalah 6,3490. Menurut Tjokrodimuldo (1992) sebuah agregat kasar normal memiliki modulus halus butir sebesar 6,0-7,0. Agregat kasar dari Clereng, Kulon Progo telah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Pengujian analisa saringan agregat kasar juga digunakan untuk mengetahui batas gradasi ukuran butir maksimum agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Batas Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Presentase Lolos (%)	
	Gradasi Agregat	
	40 mm	20 mm
40	95 – 100	100
20	30 – 70	95 – 100
10	10 – 35	25 – 55
4,8	0 – 5	0 – 10

Berdasarkan Tabel 5.9 batas gradasi ukuran butir maksimum agregat kasar adalah 20 mm. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen bahan butiran yang lewat saringan dapat dilihat pada Gambar 5.2.

**Gambar 5.2 Batas Gradasi Agregat Kasar**

3. Pengujian berat volume padat dan berat volume gembur agregat kasar
 Pengujian berat volume padat dan berat volume gembur agregat kasar menggunakan metode SNI 03-4804-1998. Hasil pengujian berat volume padat dan berat volume gembur dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11.

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil
Berat tabung, gram (w1)	11100
Berat tabung + Agregat kondisi jenuh, gram (w2)	19100
Berat Agregat, gram (w3)	8000
Volume tabung, cm ³ (V)	5287,1595
Berat volume padat, gram/cm ³ (W3/V)	1,5131

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil
Berat tabung, gram (w1)	11100
Berat tabung + Agregat kondisi jenuh, gram (w2)	18200
Berat Agregat, gram (w3)	7100
Volume tabung, cm ³ (V)	5287,1595
Berat volume padat, gram/cm ³ (W3/V)	1,3429

Hasil pengujian berat isi gembur agregat kasar didapatkan angka sebesar 1,3429 gram/cm³, sedangkan berat isi padat agregat kasar didapatkan angka sebesar 1,5131 gram/cm³. Nilai berat volume agregat kasar lebih kecil dari pada agregat halus. Hal ini dikarenakan ukuran butir agregat kasar yang memiliki spesifikasi tertahan saringan 4,8 mm mengakibatkan antar butir memiliki rongga kosong yang lebih banyak dari pada agregat halus yang mempunyai spesifikasi lolos saringan 4,8 mm.

5.3 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton (*mix design*) pada penelitian ini menggunakan metode SNI 03-2834-2000. Perencanaan campuran beton ini dilakukan untuk memperoleh proporsi campuran yang sesuai dengan kuat tekan beton rencana. Pada penelitian ini beton normal yang direncanakan memiliki kuat tekan 25 MPa yang perhitungannya sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana ($f'c$) = 25 MPa yang dilakukan pengujian pada umur rencana 28 hari.
2. Nilai tambah margin (M) karena benda uji yang direncanakan kurang dari 15 buah, maka nilai tambah margin diambil sebesar 12 MPa
3. Kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan ($f'cr$) berdasarkan Persamaan 3.2 diperoleh sebagai berikut.

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

4. Semen yang digunakan adalah semen tipe PCC merek Tiga Roda.
5. Agregat yang digunakan berupa agregat halus dari Clereng, Kulon Progo dan agregat kasar batu pecah dengan ukuran maksimum 20 mm dari Clereng, Kolon Progo.
6. Faktor air semen (FAS), berdasarkan Tabel 3.4 tentang perkiraan kekuatan tekan beton dengan nilai kuat tekan beton rata-rata 37 MPa, semen yang digunakan semen Portland tipe I, beton dilakukan pengujian pada umur rencana 28 hari, benda uji silinder dan agregat kasar berupa batu pecah maka digunakan nilai FAS sebesar 0,5.
7. Nilai slump yang direncanakan pada penelitian ini menggunakan nilai slump rencana yaitu 60-180 mm.
8. Ukuran agregat maksimum yang digunakan 20 mm dan nilai slump yang di rencanakan adalah 60-180 mm sehingga dari Tabel 3.5 maka diperoleh nilai

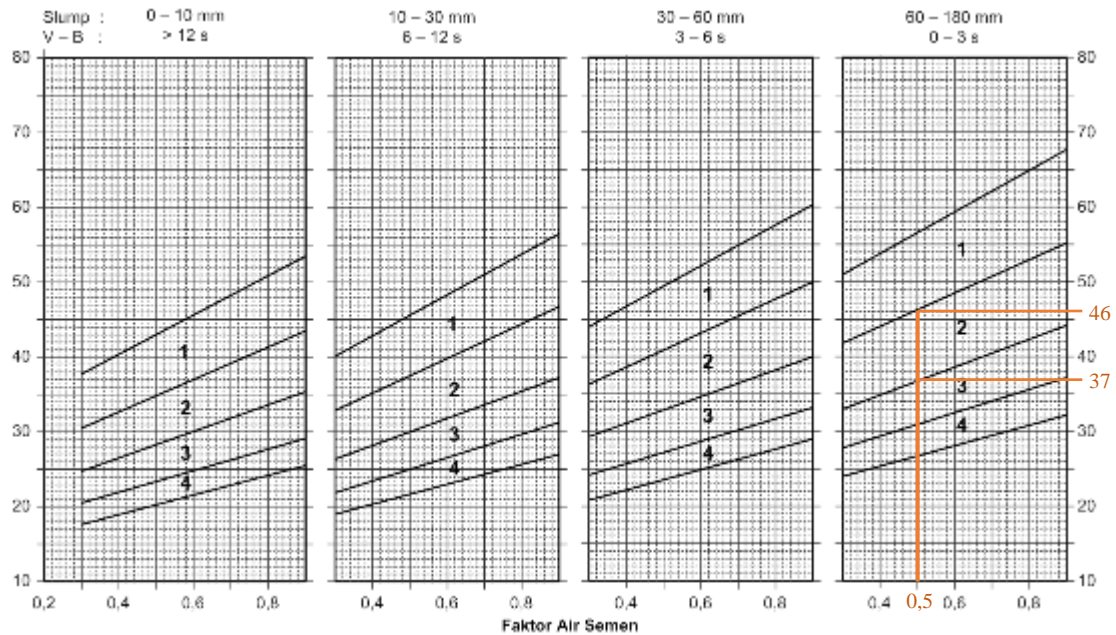
perkiraan jumlah air unruk agregat halus (W_h) adalah 195 dan agregat kasar (W_k) adalah 225 sehingga nilai kadar air bebas agregat campuran dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar air bebas} &= \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \\ &= \frac{2}{3} \cdot 195 + \frac{1}{3} \cdot 225 \\ &= 205 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

9. Kadar semen minimum yang direncanakan yaitu beton diluar ruangan dan tidak terlindungi dari hujan serta terik matahari langsung berdasarkan Tabel 3.6 maka kadar semen mimum per- m^3 sebesar 325 kg dan nilai faktor air semen maksimum sebesar 0,6. Berdasarkan Persamaan 3.4 jumlah semen minimum yang digunakan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah semen minimum per } \text{m}^3 \text{ beton} &= \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{FAS}} \\ &= \frac{205}{0,5} \\ &= 410 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

10. Persentase agregat halus dan agregat kasar
 Dengan nilai slump 60-180 mm, faktor air semen 0,5, dan ukuran butir maksimum 20 mm serta agregat halus berada pada gradasi 2 sehingga nilai persentase agregat halus terhadap kadar agregat total sesuai pada Gambar 5.3 sebagai berikut.



Gambar 5.3 Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Agregat Total
(Sumber: SNI-03-2834-2000)

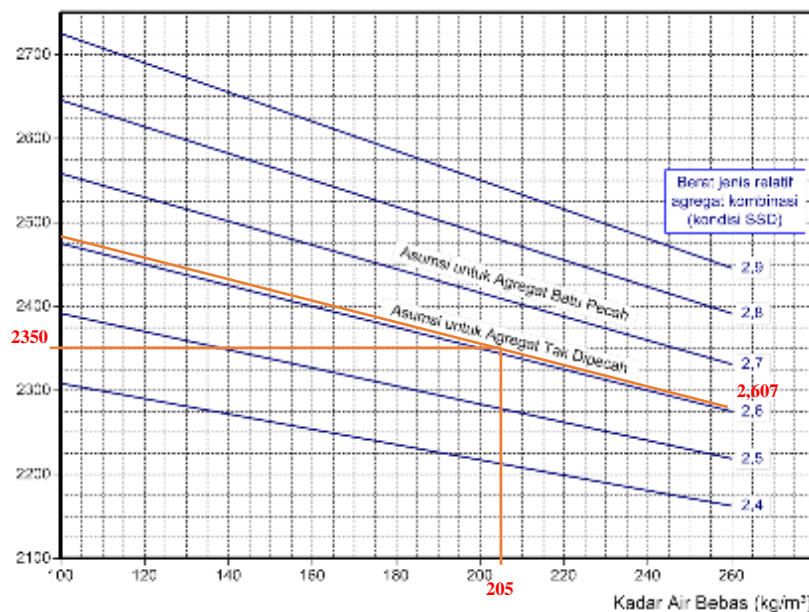
Berdasarkan Gambar 5.5 diperoleh persentase agregat halus batas atas sebesar 46% dan batas bawah sebesar 37%. Nilai persentase agregat halus yang digunakan adalah nilai rata-rata yaitu 41,5. Untuk nilai persentase agregat kasar dapat diperoleh dengan Persamaan 3.5 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai persentase agregat kasar} &= 100\% - \text{Persentase agregat halus} \\
 &= 100\% - 41,5\% \\
 &= 58,5\%
 \end{aligned}$$

11. Berdasarkan hasil dari pemeriksaan bahan susun beton diperoleh nilai berat jenis agregat halus (BJ_{AH}) sebesar 2,642 dan nilai berat jenis agregat kasar (BJ_{AK}) sebesar 2,582. Maka nilai berat jenis gabungan agregat dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis agregat gabungan (BJ}_{AG}) &= (\%AH \cdot BJ_{AH}) + (\%AK \cdot BJ_{AK}) \\
 &= (41,5\% \cdot 2,642) + (58,5\% \cdot 2,582) \\
 &= 2,607
 \end{aligned}$$

12. Berat isi beton diperoleh dari Gambar 5.4 dengan nilai kadar air bebas sebesar 205 dan berat jenis gabungan sebesar 2,607, maka diperoleh nilai berat isi beton sebagai berikut.



Gambar 5.4 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

Berdasarkan Gambar 5.4 diperoleh nilai berat isi beton basah sebesar 2350 kg/m^3

13. Kadar agregat gabungan diperoleh dari Persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar agregat gabungan} &= \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \\
 &= 2350 - 410 - 205 \\
 &= 1735 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

14. Kadar agregat halus diperoleh dari Persamaan 3.8 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat halus} &= \frac{\% \text{ agregat halus}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \\ &= \frac{41,5}{100} \times 1735 \\ &= 720,025 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

15. Kadar agregat kasar diperoleh berdasarkan Persamaan 3.9 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat kasar} &= \frac{\% \text{ agregat kasar}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \\ &= \frac{58,5}{100} \times 1735 \\ &= 1014,975 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

16. Proporsi campuran (agregat dalam kondisi SSD)

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan susuna campuran proporsi teoritis untuk setiap 1 m³ beton adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 410 kg
- b. Air = 205 kg
- c. Agregat Halus = 720,025 kg
- d. Agregat Kasar = 1014,975 kg

17. Proporsi campuran dengan angka penyusutan 20%, maka didapatlan susunan campuran proporsi teoritis dengan angka penyussutan untuk setiap 1m³ beton adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 410 kg x 1,2
= 492 kg
- b. Air = 205 kg x 1,2
= 246 kg
- c. Agregat halus = 720,025 kg x 1,2
= 864,030 kg
- d. Agregat kasar = 1014,975 kg x 1,2
= 1217,970 kg

18. Proporsi campuran setiap variasi dimana penelitian ini digunakan benda uji silinder sebanyak 10 buah tiap kadar variasi.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume 10 silinder (D = 0,15 m; t = 0,30 m)} &= 10 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\
 &= 10 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\
 &= 0,053014 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Berat masing-masing bahan dalam setiap kombinasi campuran (10 silinder)

a. Beton normal (0%)

- 1) Semen = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji
= 492,0 × 0,053014
= 26,083 kg
- 2) Air = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji
= 246,0 × 0,053014
= 13,042 kg
- 3) Pasir Biasa = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji
= 864,030 × 0,053014
= 45,806 kg
- 4) Agregat kasar = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji
= 1217,970 × 0,053014
= 64,570 kg

b. Beton dengan kadar pasir besi 60%

- 1) Semen = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji
= 492,0 × 0,053014
= 26,083 kg
- 2) Air = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji
= 246,0 × 0,053014
= 13,042 kg

- 3) Pasir Biasa = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji × 40%
 = 864,030 × 0,053014 × 40%
 = 18,322 kg
- 4) Pasir Besi = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji × 60%
 = 864,030 × 0,053014 × 60%
 = 27,484 kg
- 5) Agregat kasar = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji
 = 1217,970 × 0,053014
 = 64,570 kg

c. Beton dengan kadar pasir besi 70%

- 1) Semen = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji
 = 492,0 × 0,053014
 = 26,083 kg
- 2) Air = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji
 = 246,0 × 0,053014
 = 13,042 kg
- 3) Pasir Biasa = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji × 30%
 = 864,030 × 0,053014 × 30%
 = 13,742 kg
- 4) Pasir Besi = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji × 70%
 = 864,030 × 0,053014 × 70%
 = 32,064 kg
- 5) Agregat kasar = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji
 = 1217,970 × 0,053014
 = 64,570 kg

d. Beton dengan kadar pasir besi 80%

- 1) Semen = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji
= $492,0 \times 0,053014$
= 26,083 kg
- 2) Air = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji
= $246,0 \times 0,053014$
= 13,042 kg
- 3) Pasir Biasa = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji × 20%
= $864,030 \times 0,053014 \times 20\%$
= 9,161 kg
- 4) Pasir Besi = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji × 80%
= $864,030 \times 0,053014 \times 80\%$
= 36,645 kg
- 5) Agregat kasar = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji
= $1217,970 \times 0,053014$
= 64,570 kg

e. Beton dengan kadar pasir besi 90%

- 1) Semen = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji
= $492,0 \times 0,053014$
= 26,083 kg
- 2) Air = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji
= $246,0 \times 0,053014$
= 13,042 kg
- 3) Pasir Biasa = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji × 10%
= $864,030 \times 0,053014 \times 10\%$
= 4,581 kg

- 4) Pasir Besi = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji × 90%
 = 864,030 × 0,053014 × 90%
 = 41,225 kg
- 5) Agregat kasar = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume benda uji
 = 1217,970 × 0,053014
 = 64,570 kg

19. Hasil rekapitulasi perhitungan perencanaan campuran beton (*Mix Design*) dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Formulir Perencanaan Campuran Beton				
(SNI 03-2834-200)				
No	Uraian	Nilai	Satuan	Tabel/ Grafik/ Hitungan
1	Kuat tekan beton	25	Mpa	Ditetapkan
2	Deviasi standar (Sd)	-		
3	Nilai tambah / Margin (m)	12		M = 1,64 x Sd
4	Kuat teknan rata-rata	37	Mpa	(1) + (3)
5	Jenis semen	PC tipe I		Ditetapkan
6	Jenis gregat kasar	Batu pecah		Ditetapkan
	Jenis agregat halus	Pasir alami		Ditetapkan
7	FAS bebas	0,5		Tabel 2 dan Grafik 1 dan 2
	FAS maksimum	0,6		
8	FAS digunakan	0,5		
9	Slump	60-180	mm	Ditetapkan
10	Ukuran agregat maks	20	mm	Ditetapkan
11	Kadar air bebas	205	Kg/m ³	Tabel 3
12	Kadar semen	410	Kg/m ³	(11) : (8)
13	Kadar semen maksimum	-	Kg/m ³	
14	Kadar semen minimum	325	Kg/m ³	Tabel 4
15	Kadar semen digunakan	410	Kg/m ³	
16	FAS disesuaikan	0,5		

Lanjutan Tabel 5.12 Rekapitulasi Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Formulir Perencanaan Campuran Beton					
(SNI 03-2834-200)					
No	Uraian	Nilai	Satuan	Tabel/ Grafik/ Hitungan	
17	Susunan besar agregat halus	2		Daerah Gradasi	
18	Berat jenis agregat kasar (kerikil)	2,582			
	Berat jenis agregat halus	2,642			
19	Persen agregat halus	41,5		grafik 13/ 14/ 15	
20	Berat jenis relatif agregat gabungan	2,607			
21	Berat isi beton	2350	Kg/m3	grafik 16	
22	Kadar agregat gabungan	1735	Kg/m3	21- 15- 11	
23	Kadar agregat halus	720,025	Kg/m3	19 x 22	
24	Kadar agregat kasar	1014,975	Kg/m3	22- 23	
		Semen	Air	Agregat	
		(kg)	(kg)	Halus (kg)	Kasar (kg)
25	Proporsi campuran teoritis (SSD)				
	setiap m3	410	205	720,025	1014,975
	setiap campuran uji :	21,736	10,868	38,172	53,808
26	Proporsi campuran dengan angka penyusutan 20%				
	setiap m3	492	246	864,03	1217,97
	setiap campuran uji :	26,086	13,042	45,806	64,57

20. Pencampuran adukan beton dilakukan dalam satu tahap untuk benda uji silinder sebanyak 10 buah. Hasil rekapitulasi kebutuhan material pencampuran beton dengan pasir besi dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Kebutuhan Material Pencampuran Beton

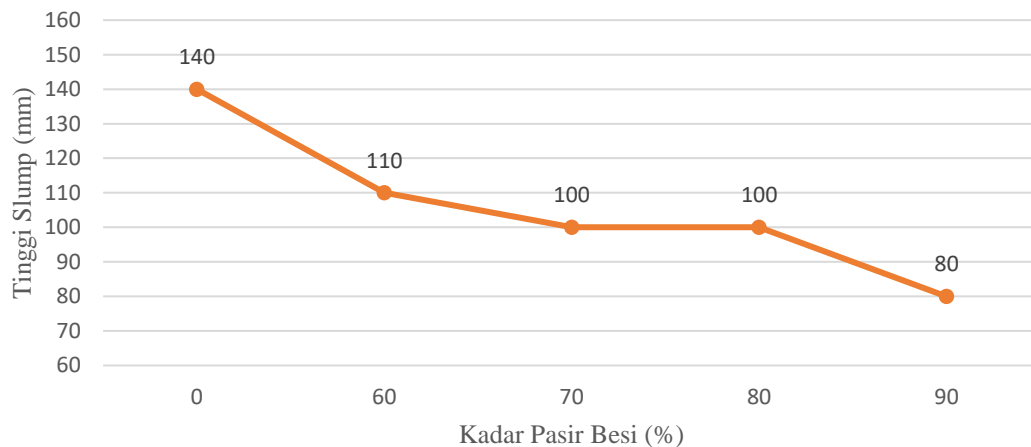
Kode Benda Uji	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Pasir Besi (kg)
R0	26,086	13,042	45,806	64,570	0,000
R60	26,086	13,042	18,322	64,570	27,484
R70	26,086	13,042	13,742	64,570	32,064
R80	26,086	13,042	9,161	64,570	36,645
R90	26,086	13,042	4,581	64,570	41,225

5.4 Pengujian Nilai *Slump*

Nilai *slump* yang direncanakan pada penelitian ini adalah sebesar 60-180 mm, karena beton dalam dalam penelitian adalah beton normal. Pengujian nilai *slump* dilakukan untuk mengetahui tingkat kekentalan dari sebuah adukan beton. Nilai *slump* yang rendah menunjukkan bahwa beton tersebut memiliki adukan yang kental, sedangkan nilai *slump* yang tinggi menunjukkan beton tersebut memiliki adukan yang encer. Hasil pengujian nilai *slump* dapat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Hasil Pengujian Nilai *Slump*

Kode Benda Uji	Kadar Pasir Besi	Tinggi Slump	Keterangan
R0	0%	140 mm	Memenuhi
R60	60%	110 mm	Memenuhi
R70	70%	100 mm	Memenuhi
R80	80%	100 mm	Memenuhi
R90	90%	80 mm	Memenuhi



Gambar 5.5 Grafik Pengujian *Slump*

Nilai *slump* menunjukkan kekentalan pada campuran beton. Menurut Nugraha dan Antoni (2007) kekentalan, pengikatan dan pengerasan pada beton cair dipengaruhi oleh bentuk, tekstur dan gradasi agregat. Pada penelitian ini terdapat perbedaan gradasi antara pasir besi dan pasir biasa. Pasir besi memiliki ukuran butir yang hanya tertahan

pada saringan 0,15 mm dan pan, oleh karena gradasi pasir besi memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan pasir biasa sehingga dapat membuat campuran beton segar lebih kental dan membuat kelecakan semakin tinggi. Gradasi dan keseragaman agregat halus lebih menentukan kelecakan (*workability*) daripada gradasi dari keseragaman agregat kasar karena mortar berfungsi sebagai pelumas sedangkan agregat kasar hanya mengisi ruang saja, selain itu jumlah agregat halus yang melewati 2 ayakan terkecil memengaruhi kelecakan, tekstur permukaan dan pendarahan (Nugraha dan Antoni, 2007). Berdasarkan Gambar 5.5 dapat dilihat bahwa hasil pengujian nilai *slump* mengalami penurunan seiring bertambahnya penggunaan pasir besi. Nilai *slump* yang menurun disebabkan oleh kelecakan yang tinggi pada campuran beton.

5.5 Pengujian Penyerapan Air Beton

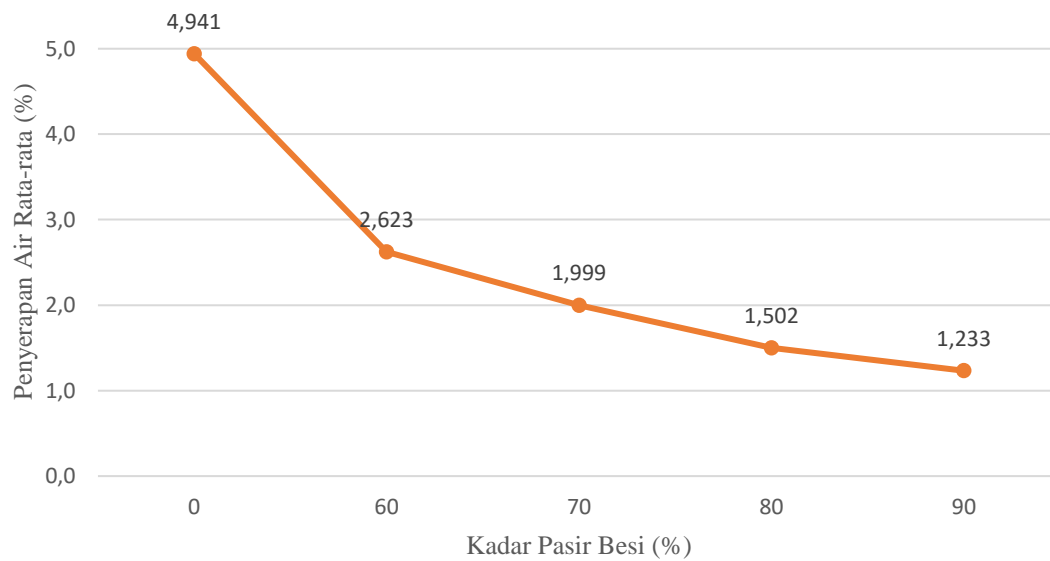
Pengujian penyerapan air beton dilakukan pada benda uji yang telah direndam selama 28 hari. Benda uji ditimbang dalam keadaan basah dan kemudian di oven selama 24 jam dengan suhu 110°C. Setelah di oven, benda uji dikeluarkan lalu ditimbang sehingga diperoleh berat benda uji saat kondisi kering mutlak. Berdasarkan Persamaan 3.10 diperoleh hasil pengujian penyerapan air beton dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Penyerapan Air Beton

No	Kode Benda Uji	Diameter (m)	Tinggi (m)	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	Berat Volume Kering (kg/m ³)	Berat Volume Kering Rata-Rata (kg/m ³)	Serapan Air (%)	Serapan Air Rata-Rata (%)
1	R0	R1	0,1498	0,303	11,9	11,4	2134,76	4,386	4,941
		R5	0,1459	0,3037	12	11,4	2245,22	5,263	
		R7	0,1501	0,3016	12,2	11,6	2173,58	5,172	
2	R60	R12	0,1508	0,301	13,2	12,9	2399,55	2,326	2,623
		R16	0,1501	0,3017	12,9	12,5	2341,44	3,200	
		R17	0,1494	0,2998	13,1	12,8	2435,50	2,344	
3	R70	R2	0,1516	0,3025	13,6	13,3	2435,78	2,256	1,999
		R6	0,1506	0,3	13,5	13,3	2488,80	1,504	
		R10	0,1507	0,3014	13,7	13,4	2492,56	2,239	

Lanjutan Tabel 5.15 Hasil Pengujian Penyerapan Air Beton

No	Kode Benda Uji	Diameter (m)	Tinggi (m)	Berat Basah (kg)	Berat Kering (kg)	Berat Volume Kering (kg/m ³)	Berat Volume Kering Rata-Rata (kg/m ³)	Serapan Air (%)	Serapan Air Rata-Rata (%)
4	R80	R16	0,1504	0,3025	13,6	13,4	2493,41	1,493	1,502
		R17	0,1503	0,291	13,3	13,2	2556,66	0,758	
		R20	0,1498	0,3003	13,6	13,3	2512,94	2,256	
5	R90	R26	0,1505	0,2986	13,6	13,5	2541,45	0,741	1,233
		R28	0,1512	0,3015	13,7	13,6	2512,22	0,735	
		R30	0,1499	0,3017	13,8	13,5	2535,51	2,222	



Gambar 5.6 Grafik Pengujian Penyerapan Air Beton

Berdasarkan Gambar 5.6 penyerapan air pada beton menunjukkan bahwa semakin besar kadar pasir besi dalam campuran beton, maka nilai penyerapan air akan semakin kecil. Hal ini berhubungan dengan ukuran butir pasir besi yang dapat mengisi rongga-rongga didalam campuran beton sehingga membuat berat volume beton menjadi lebih besar. Semakin besar nilai berat volume beton menunjukkan rongga-rongga di dalam

beton sedikit dan membuat beton menjadi padat, sebaliknya jika nilai berat volume beton semakin kecil menunjukkan banyaknya rongga didalam beton. Oleh karena itu semakin besar kadar pasir besi yang digunakan maka nilai berat volume semakin besar, artinya rongga didalam beton lebih sedikit dan padat yang membuat nilai penyerapan airnya menurun.

5.6 Pengujian Kuat Tekan Beton

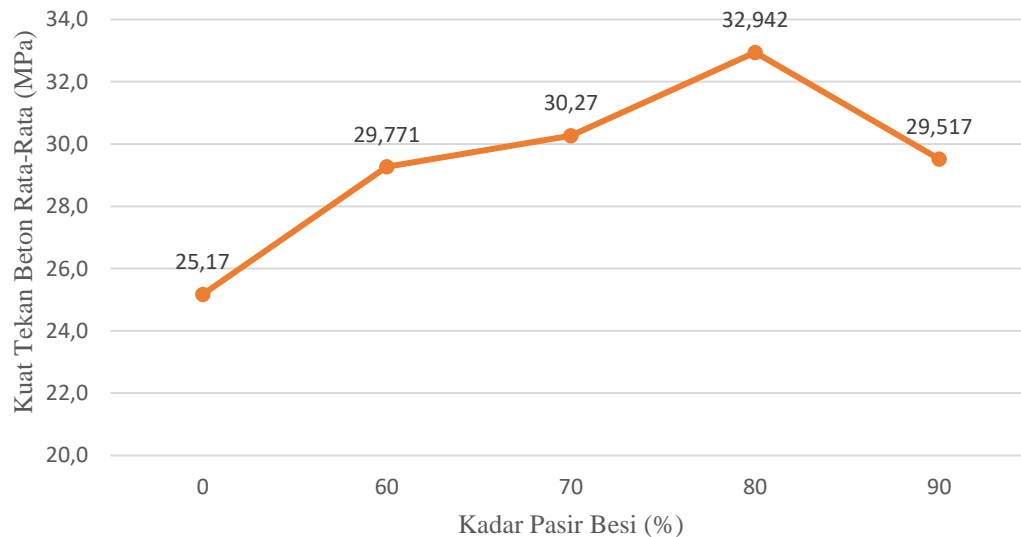
Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dilakukan pada umur benda uji 28 hari. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu diberi kaping pada bagian atas agar permukaan bidang tekan menjadi rata sehingga pada saat pengujian dilakukan, beban yang diterima dapat terdistribusi secara merata. Benda uji pada penelitian ini berbentuk silinder beton dengan lima sampel dari setiap variasi, jadi total benda uji untuk pengujian kuat tekan beton sebanyak 25 sampel. Perhitungan kuat tekan beton dihitung dengan Persamaan 3.11. Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Benda Uji		Dimensi Benda Uji		Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan Beton (f'c) (MPa)	Kuat Tekan Beton Rerata (MPa)
Kadar Pasir Besi	Kode	Diameter (mm)	Tinggi (mm)			
0%	R2	151,050	301,90	400000	22,322	25,170
	R3	151,325	304,00	500000	27,801	
	R4	150,750	305,30	420000	23,531	
	R8	150,750	301,00	450000	25,212	
	R9	150,500	303,00	480000	26,982	
60%	R11	150,750	300,30	425000	23,811	29,771
	R13	149,700	302,30	500000	28,408	
	R15	150,100	301,00	470000	26,561	
	R18	150,900	304,50	640000	35,786	
	R19	150,500	303,00	610000	34,290	
70%	R1	150,350	305,00	610000	34,358	30,270
	R3	151,525	303,60	605000	33,550	
	R4	150,300	305,00	570000	32,127	
	R8	150,025	301,80	450000	25,456	
	R9	150,500	300,50	460000	25,858	

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Benda Uji		Dimensi Benda Uji		Beban Maksimum (kg)	Kuat Tekan Beton (f'c) (MPa)	Kuat Tekan Beton Rerata (MPa)
Kadar Pasir Besi	Kode	Diameter (mm)	Tinggi (mm)			
80%	R11	150,575	301,40	550000	30,886	32,942
	R12	150,725	302,60	620000	34,748	
	R14	151,000	302,00	520000	29,038	
	R18	150,975	303,80	620000	34,633	
	R19	150,525	302,50	630000	35,402	
90%	R21	150,175	302,10	630000	35,568	29,517
	R22	151,150	302,70	520000	28,980	
	R23	151,550	301,50	520000	28,827	
	R24	150,175	301,00	450000	25,406	
	R29	150,150	302,50	510000	28,803	



Gambar 5.7 Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton

Berdasarkan Gambar 5.7 menunjukkan bahwa substitusi pasir besi terhadap agregat halus dalam campuran beton dapat mempengaruhi peningkatan kuat tekan beton. Hal ini dikarenakan ukuran butir pasir besi yang hanya tertahan pada saringan 0,15 dan pan, sehingga dapat mengisi rongga-rongga yang kosong pada campuran beton yang membuat beton menjadi semakin padat. Disamping itu pasir besi memiliki berat

jenis yang lebih besar dibandingkan dengan pasir biasa sehingga membuat berat beton menjadi lebih besar dari beton tanpa adanya penggunaan pasir besi.

Pada Gambar 5.7 dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan beton cenderung meningkat seiring bertambahnya kadar pasir besi, namun setelah kadar pasir besi mencapai optimum yaitu pada kadar 80% terjadi penurunan kuat tekan. Kuat tekan beton kontrol pada kadar 0% yaitu 25,170 MPa, kemudian terjadi peningkatan kuat tekan hingga penggunaan kadar pasir besi 80%. Pada penggunaan kadar pasir besi 60% dengan kuat tekan beton rata-rata sebesar 29,771 MPa terjadi peningkatan kuat tekan beton sebesar 18,28% dari beton kontrol. Pada penggunaan kadar pasir besi 70% dengan kuat tekan beton rata-rata sebesar 30,270 MPa terjadi peningkatan kuat tekan beton sebesar 20,262% dari beton kontrol. Pada penggunaan kadar pasir besi 80% dengan kuat tekan beton rata-rata sebesar 32,942 MPa terjadi peningkatan kuat tekan beton sebesar 30,878% dari beton kontrol. Kemudian pada penggunaan kadar pasir besi 90% dengan kuat tekan beton rata-rata sebesar 29,517 MPa terjadi penurunan kuat tekan beton sebesar 10,397% dari kuat tekan optimum. Penurunan ini terjadi karena penggunaan pasir besi yang terlalu banyak, maka pada saat kadar pasir besi mencapai 90% beton didominasi oleh pasir besi yang tertahan saringan 0,15 dan pan. Ukuran butir pasir besi yang lebih halus dari pasir biasa menyebabkan campuran membutuhkan tambahan semen, sedangkan pada penelitian ini tidak melakukan penambahan semen. Hal ini menyebabkan campuran kekurangan daya ikat dan mengalami penurunan kuat tekan.

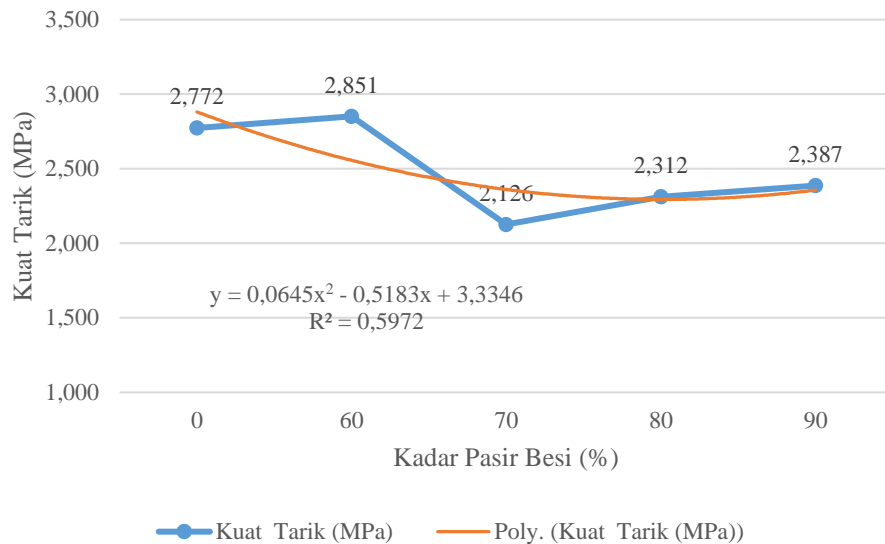
5.7 Pengujian Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah beton pada penelitian ini dilakukan pada umur benda uji 28 hari. Pengujian ini menggunakan metode SNI 03-2491-2002 tentang pengujian kuat tarik belah beton. Benda uji pada penelitian ini berbentuk silinder beton dengan lima sampel dari setiap variasi, jadi total benda uji untuk pengujian kuat tarik belah beton sebanyak 25 sampel. Perhitungan kuat tarik belah beton dihitung dengan Persamaan 3.12. Rekapitulasi hasil pengujian kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Benda Uji		Dimensi Benda Uji		Beban Maksimum (N)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rerata (MPa)
Kadar Pasir Besi	Kode	Diameter (mm)	Tinggi (mm)			
0%	R1	149,775	303,00	127000	1,782*	2,772
	R5	145,900	303,70	119000	1,710*	
	R6	150,250	302,40	218000	3,055	
	R7	150,050	301,60	155000	2,180	
	R10	150,000	303,00	220000	3,082	
60%	R12	150,750	301,00	220000	3,087	2,851
	R14	152,150	304,20	200000	2,751	
	R16	150,050	301,65	157000	2,208*	
	R17	149,350	299,80	191000	2,716	
	R20	150,150	301,70	225000	3,162*	
70%	R2	151,600	302,50	145000	2,013	2,126
	R5	150,425	303,00	139000	1,941	
	R6	150,575	300,00	172000	2,424	
	R7	149,600	301,30	123000	1,737*	
	R10	150,700	301,40	196000	2,747*	
80%	R13	150,350	303,70	160000	2,231	2,312
	R15	150,700	301,40	196000	2,747*	
	R16	150,375	302,50	147000	2,057*	
	R17	150,275	291,00	153000	2,227	
	R20	149,775	300,30	175000	2,477	
90%	R25	151,225	301,30	144000	2,012*	2,387
	R26	150,500	298,60	168000	2,340	
	R27	151,400	302,70	210000	2,917*	
	R28	151,200	301,50	186000	2,597	
	R30	149,925	301,70	158000	2,224	

* Nilai Ekstrem



Gambar 5.8 Grafik Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Nilai kuat tarik pada Tabel 5.17 dibuat grafik hubungan antara penggunaan pasir besi dengan nilai kuat tarik. Dari grafik tersebut akan dibuat analisis regresi polinomial orde 2 (dua) menggunakan *Microsoft Excel*. Pembuatan regresi ini bertujuan untuk mengetahui nilai koefisien korelasi (R) yang dapat menunjukkan seberapa erat hubungan antara penggunaan pasir besi dengan kuat tarik yang terjadi. Pembuatan regresi dari data kadar pasir besi dengan data nilai kuat tarik digunakan fasilitas *trendline* pada *Microsoft Excel*.

Berdasarkan Gambar 5.8 dapat dilihat bahwa nilai kuat tarik belah beton akan menurun seiring dengan bertambahnya kadar pasir besi. Penurunan kuat tarik yang paling tinggi terjadi pada kadar 70%. Nilai R (Koefisien korelasi) yang didapatkan sebesar 0,7727. Nilai tersebut diplotkan ke dalam tabel interpretasi nilai koefisien korelasi untuk mengetahui tingkat hubungan antara penggunaan pasir besi dengan nilai kuat tarik yang terjadi. Tabel interpretasi nilai koefisien korelasi dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5.18 Interpretasi Nilai Koefisien Korelasi

Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 - 0,199	Sangat rendah
0,20 - 0,399	Rendah
0,40 - 0,599	Sedang
0,60 - 0,799	Kuat
0,80 - 1,00	Sangat kuat

Sumber : Sugiyono (2006 : 214)

Berdasarkan Tabel 5.18 nilai R yang didapatkan masuk ke dalam kategori kuat, sehingga dapat diartikan korelasi antara penggunaan pasir besi dengan nilai kuat tarik yang terjadi berpengaruh dimana semakin banyak kadar pasir besi yang digunakan maka nilai kuat tarik yang dihasilkan semakin rendah. Penurunan nilai kuat tarik yang terjadi dikarenakan ukuran pasir besi yang lebih halus dari pasir biasa sehingga diperlukan tambahan semen dalam campuran beton. Kekurangan semen dalam campuran beton mengakibatkan lekatan antar agregat menjadi berkurang yang menyebabkan benda uji mudah terbelah pada saat dilakukan pengujian.

5.8 Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas beton dilaksanakan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton. Pengujian ini dilaksanakan saat benda uji berumur 28 hari dengan jumlah benda uji sebanyak 25 buah beton silinder dari 5 variasi kadar pasir besi. Pembacaan *dial gauge* dilakukan seiring dengan kelipatan beban yang diberikan hingga beban mengalami penurunan. Pengujian ini menghasilkan data berupa tegangan dan regangan aksial. Hasil pengujian modulus elastisitas beton dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.19 Tegangan dan Regangan Kombinasi R14 dengan Kadar Pasir Besi 80%

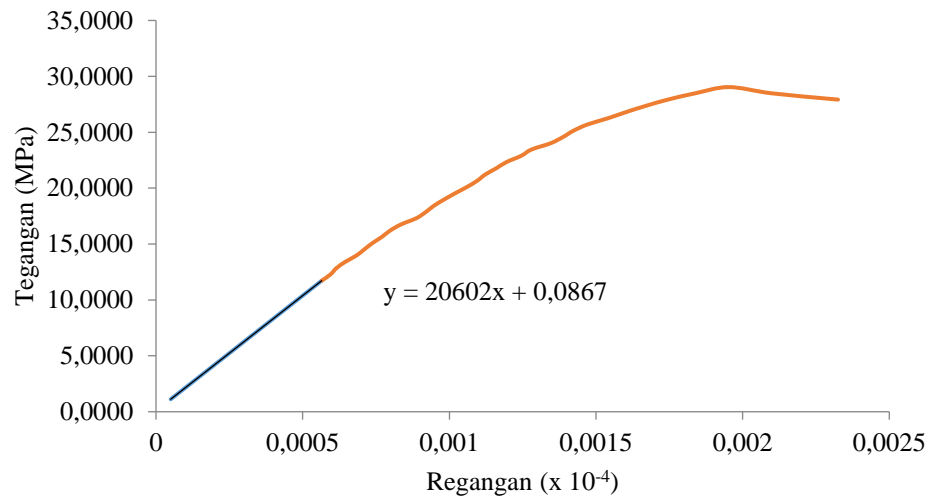
Beban		Pembacaan Dial x 0,001 (mm)	ΔL (mm)	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	ε	τ (N/mm ²)
KN	N						
10	10000	8	0,004	17907,86	200	0,00002	0,5584
20	20000	20	0,01	17907,86	200	0,00005	1,1168
30	30000	31	0,0155	17907,86	200	0,0000775	1,6752
40	40000	42	0,021	17907,86	200	0,000105	2,2337
50	50000	53	0,0265	17907,86	200	0,0001325	2,7921
60	60000	64	0,032	17907,86	200	0,00016	3,3505
70	70000	75	0,0375	17907,86	200	0,0001875	3,9089
80	80000	86	0,043	17907,86	200	0,000215	4,4673
90	90000	96	0,048	17907,86	200	0,00024	5,0257
100	100000	105	0,0525	17907,86	200	0,0002625	5,5841
110	110000	116	0,058	17907,86	200	0,00029	6,1426
120	120000	128	0,064	17907,86	200	0,00032	6,7010
130	130000	138	0,069	17907,86	200	0,000345	7,2594
140	140000	149	0,0745	17907,86	200	0,0003725	7,8178
150	150000	158	0,079	17907,86	200	0,000395	8,3762
160	160000	171	0,0855	17907,86	200	0,0004275	8,9346
170	170000	183	0,0915	17907,86	200	0,0004575	9,4930
180	180000	191	0,0955	17907,86	200	0,0004775	10,0515
190	190000	204	0,102	17907,86	200	0,00051	10,6099
200	200000	215	0,1075	17907,86	200	0,0005375	11,1683
210	210000	226	0,113	17907,86	200	0,000565	11,7267
220	220000	238	0,119	17907,86	200	0,000595	12,2851
230	230000	246	0,123	17907,86	200	0,000615	12,8435
240	240000	258	0,129	17907,86	200	13,4019	0,0006492
250	250000	273	0,1365	17907,86	200	13,9603	0,0006867
260	260000	284	0,142	17907,86	200	14,5188	0,0007142
270	270000	295	0,1475	17907,86	200	15,0772	0,0007417
280	280000	308	0,154	17907,86	200	15,6356	0,0007742
290	290000	319	0,1595	17907,86	200	16,1940	0,0008017

Lanjutan Tabel 5.19 Tegangan dan Regangan Kombinasi R14 dengan Kadar Pasir Besi 80%

Beban		Pembacaan Dial x 0,001 (mm)	ΔL (mm)	A_0 (mm ²)	L_0 (mm)	ϵ	τ (N/mm ²)
KN	N						
300	300000	334	0,167	17907,86	200	16,7524	0,0008392
310	310000	355	0,1775	17907,86	200	17,3108	0,0008917
320	320000	368	0,184	17907,86	200	17,8692	0,0009242
330	330000	379	0,1895	17907,86	200	18,4277	0,0009517
340	340000	393	0,1965	17907,86	200	18,9861	0,0009867
350	350000	408	0,204	17907,86	200	19,5445	0,0010242
360	360000	424	0,212	17907,86	200	20,1029	0,0010642
370	370000	438	0,219	17907,86	200	20,6613	0,0010992
380	380000	449	0,2245	17907,86	200	21,2197	0,0011267
390	390000	464	0,232	17907,86	200	21,7781	0,0011642
400	400000	478	0,239	17907,86	200	22,3366	0,0011992
410	410000	498	0,249	17907,86	200	22,8950	0,0012492
420	420000	512	0,256	17907,86	200	23,4534	0,0012842
430	430000	538	0,269	17907,86	200	24,0118	0,0013492
440	440000	555	0,2775	17907,86	200	24,5702	0,0013917
450	450000	569	0,2845	17907,86	200	25,1286	0,0014267
460	460000	588	0,294	17907,86	200	25,6870	0,0014742
470	470000	616	0,308	17907,86	200	26,2455	0,0015442
480	480000	641	0,3205	17907,86	200	26,8039	0,0016067
490	490000	668	0,334	17907,86	200	27,3623	0,0016742
500	500000	698	0,349	17907,86	200	27,9207	0,0017492
510	510000	735	0,3675	17907,86	200	28,4791	0,0018417
520	520000	781	0,3905	17907,86	200	29,0375	0,0019567
510	510000	840	0,42	17907,86	200	28,4791	0,0021042
500	500000	930	0,465	17907,86	200	27,9207	0,0023292

Berdasarkan Tabel 5.19 terdapat nilai tegangan dan regangan, dari nilai tersebut dapat dicari nilai modulus elastisitas dari sebuah grafik menggunakan bantuan program *Microsoft Excel*. Pada program tersebut didapatkan persamaan regresi linear (daerah elastis), batas daerah ini diambil kurang dari 40% kuat tekan maksimumnya. Hasil yang

diperoleh dari beton kombinasi R14 dengan kadar pasir besi 80% dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Tegangan-Regangan Kombinasi R14 dengan Kadar Pasir Besi 80%

Berdasarkan Gambar 5.9 diperoleh persamaan regresi linear untuk daerah elastis. Dari data tersebut dilakukan koreksi sehingga didapatkan nilai untuk menghitung nilai modulus elastisitas yang mengacu pada ASTM C-469.

$$S_2 = 11,615 \text{ MPa}$$

$$S_1 = 1,117 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_2 = 0,000564$$

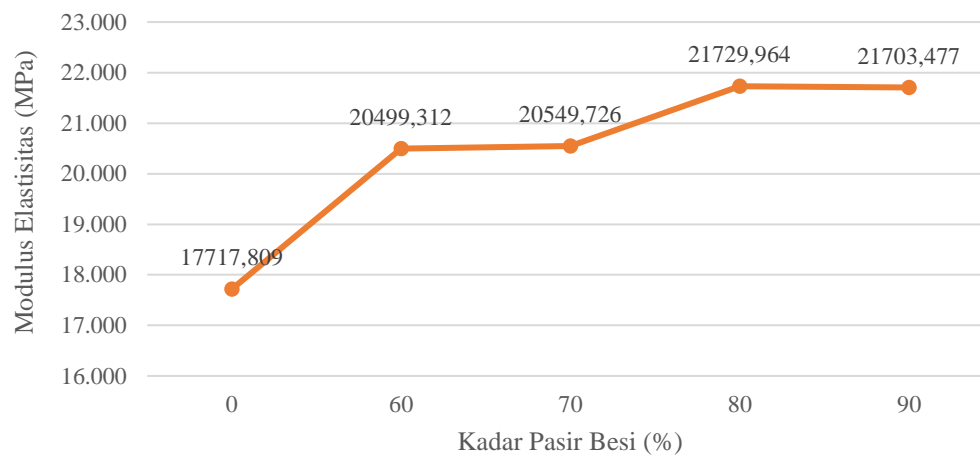
$$\epsilon_1 = 0,00005$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus Elastisitas (Ec)} &= \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \\ &= \frac{11,615 - 1,117}{0,000564 - 0,00005} \\ &= 20433,109 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan lainnya untuk nilai modulus elastisitas berdasarkan rumus dari ASTM C-469 dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut.

Tabel 5.20 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Beton

Kode Benda Uji		Ec (MPa)	Ec rata-rata (MPa)
R0	R2	18284,243	17717,809
	R3	20781,229	
	R4	17156,081	
	R8	15178,098	
	R9	17189,396	
R60	R11	17600,766	20499,312
	R13	18830,281	
	R15	21154,426	
	R18	23862,938	
	R19	21048,151	
R70	R1	18053,031	20549,726
	R3	18559,580	
	R4	19716,426	
	R8	26543,844	
	R9	19875,689	
R80	R11	21402,765	21729,964
	R12	19321,403	
	R14	20433,109	
	R18	27773,392	
	R19	19719,153	
R90	R21	20395,501	21703,477
	R22	21983,894	
	R23	18224,322	
	R24	20507,011	
	R29	27406,658	



Gambar 5.10 Modulus Elastisitas Beton

Nilai modulus elastisitas beton menunjukkan kemampuan benda uji ketika menerima beban yang besar dengan nilai regangan yang kecil. Berdasarkan Gambar 5.10 dapat dilihat bahwa nilai modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi kadar pasir besi 80% sedangkan nilai modulus elastisitas terendah terdapat pada variasi kadar pasir besi 0%. Penggunaan pasir besi dalam campuran beton membuat beton semakin padat sehingga membuat nilai modulus elastisitas beton semakin bertambah. Nilai modulus elastisitas yang tinggi menunjukkan bahwa beton dapat melakukan deformasi inelastis bolak-balik berulang, sedangkan dengan nilai modulus elastisitas yang rendah menunjukkan bahwa beton mudah getas. Pada kadar pasir besi 90% mengalami penurunan nilai modulus elastisitas. Penurunan ini terjadi karena penggunaan pasir besi yang terlalu banyak, maka pada saat kadar pasir besi mencapai 90% beton didominasi oleh pasir besi yang tertahan saringan 0,15 dan pan. Ukuran butir pasir besi yang lebih halus dari pasir biasa menyebabkan campuran membutuhkan tambahan semen, sedangkan pada penelitian ini tidak melakukan penambahan semen. Hal ini menyebabkan campuran kekurangan daya ikat dan mengalami penurunan modulus elastisitasnya.

5.9 Pembahasan Secara Keseluruhan

Berdasarkan hasil perhitungan masing-masing pengujian diperoleh hasil rekapitulasi perhitungan semua pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut.

Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pengujian Benda Uji

Kombinasi	Nilai Slump Rata-Rata (mm)	Penyerapan Air Rata-Rata (%)	Berat Volume Kering Rata-rata (kg/m ³)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Kuat Tarik Rata-Rata (MPa)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (MPa)
R0	140	4,941	2184,5202	25,17	2,772	17717,809
R60	110	2,623	2392,164	29,771	2,851	20499,312
R70	100	1,999	2472,38	30,27	2,126	20549,726
R80	100	1,502	2521,0052	32,942	2,312	21729,964
R90	80	1,233	2529,7266	29,517	2,387	21703,477

Berdasarkan Tabel 5.21 masing-masing hasil pengujian memiliki nilai dan satuan yang berbeda, maka untuk menggabungkan dalam sebuah grafik dilakukan perhitungan persentase perubahan penggunaan pasir besi sebagai substitusi agregat halus terhadap kadar 0%. Berikut contoh langkah perhitungan persentase perubahan pada nilai *slump* rata-rata kombinasi R60.

$$\frac{110 - 140}{140} \times 100 = -21,43 \%$$

Dari persamaan tersebut dilakukan perhitungan persentase perubahan untuk masing-masing pengujian. Hasil rekapitulasi perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut.

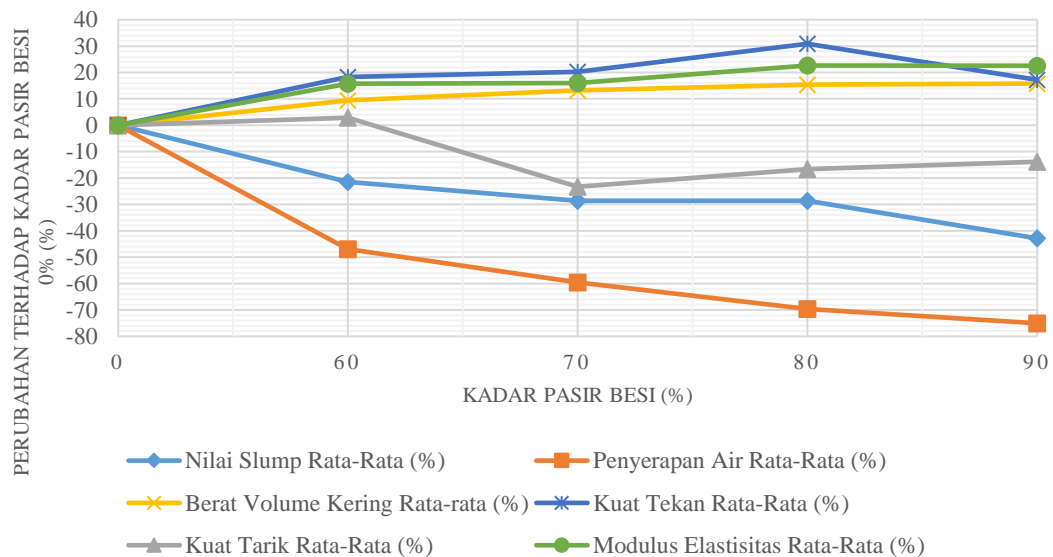
Tabel 5.22 Rekapitulasi Hasil Perubahan Pengujian

Kombinasi	Nilai Slump Rata-Rata (%)	Penyerapan Air Rata-Rata (%)	Berat Volume Kering Rata-rata (%)	Kuat Tekan Rata-Rata (%)	Kuat Tarik Rata-Rata (%)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (%)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
60	-21,43	-46,91	9,51	18,28	2,85	15,70

Lanjutan Tabel 5.22 Rekapitulasi Hasil Perubahan Pengujian

Kombinasi	Nilai Slump Rata-Rata (%)	Penyerapan Air Rata-Rata (%)	Berat Volume Kering Rata-rata (%)	Kuat Tekan Rata-Rata (%)	Kuat Tarik Rata-Rata (%)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (%)
70	-28,57	-59,54	13,18	20,26	-23,30	15,98
80	-28,57	-69,60	15,40	30,88	-16,59	22,64
90	-42,86	-75,05	15,80	17,27	-13,89	22,50

Berdasarkan Tabel 5.22 diperoleh grafik persentase perubahan nilai hasil seluruh pengujian yang telah dilakukan terhadap penggunaan kadar pasir besi 0% dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5.11 Grafik Hubungan Hasil Pengujian Terhadap Kadar Pasir Besi 0%

Berdasarkan Gambar 5.11 menunjukkan perubahan nilai pengujian yang diperoleh terhadap kadar pasir besi 0% untuk seluruh pengujian. Hal ini bertujuan untuk memudahkan dalam mengamati pengaruh yang terjadi akibat substitusi pasir besi terhadap agregat halus dalam campuran beton. Hasil yang diperoleh pada Gambar 5.11 menunjukkan bahwa terdapat hubungan-hubungan antar pengujian yang dilakukan. Hubungan antara penyerapan air dengan kuat tekan beton yaitu berbanding terbalik, semakin kecil penyerapan air maka kuat tekan betonnya semakin besar. Hal ini

disebabkan oleh rongga-rongga didalam beton yang sedikit membuat angka penyerapan air semakin kecil. Oleh karena itu, rongga yang sedikit dapat membuat beton semakin padat. Beton yang padat akan menunjukkan nilai kuat tekan yang tinggi. Selain itu terdapat hubungan antara kuat tekan dengan modulus elastisitas yaitu berbanding lurus, semakin besar kuat tekan beton maka modulus elastisitasnya juga semakin besar. Nilai kuat tekan yang semakin meningkat menunjukkan beton dalam keadaan yang padat. Ketika beton diuji dengan modulus elastisitas, beton dapat menahan pertambahan beban dengan perubahan regangan yang kecil, yang artinya nilai modulus elastisitas betonnya semakin besar. Oleh karena itu semakin besar nilai kuat tekan maka semakin besar pula nilai modulus elastisitasnya.

Selanjutnya hubungan antara nilai *slump* dengan kuat tekan beton yaitu berbanding terbalik, semakin kecil nilai *slump* maka nilai kuat tekan betonnya semakin besar. Hal ini disebabkan oleh nilai faktor air semen (fas) yang rendah pada campuran beton yang mengakibatkan nilai kuat tekannya semakin tinggi. Menurut Mulyono (2003) nilai FAS yang rendah menyebabkan air yang berada di antara bagian-bagian semen sedikit dan jarak antara butiran-butiran semen menjadi pendek. Akibatnya massa semen lebih menunjukkan keterkaitannya (kekuatan awal lebih berpengaruh). Batuan semen mencapai kepadatan yang tinggi dan kekuatan tekannya menjadi lebih tinggi. Kemudian hubungan antara berat volume kering dengan kuat tekan beton yaitu berbanding lurus, semakin besar nilai berat volume beton maka nilai kuat tekan betonnya juga semakin besar. Hal ini disebabkan oleh nilai berat volume yang tinggi menandakan rongga-rongga didalam beton itu sedikit sehingga membuat beton menjadi semakin padat. Semakin padat suatu beton maka akan menghasilkan nilai kuat tekan yang semakin besar. Namun pada kadar pasir besi 90% mengalami penurunan kuat tekan, penurunan ini terjadi karena penggunaan pasir besi yang terlalu banyak, maka pada saat kadar pasir besi mencapai 90% beton didominasi oleh pasir besi yang tertahan saringan 0,15 dan pan. Ukuran butir pasir besi yang lebih halus dari pasir biasa menyebabkan campuran membutuhkan tambahan semen yang menyebabkan campuran kekurangan daya ikat dan mengalami penurunan kuat tekan.