

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini terdapat hasil dari pengujian serta analisis mengenai inovasi dalam pembuatan roster beton. Hasil analisis ini disampaikan dengan menyajikan data pengujian dari setiap variasi. Pengujian yang dilakukan oleh penulis dalam pembuatan inovasi roster beton yaitu, pengujian kuat tekan, pengujian daya serap air, pengujian berat isi, pengujian fisik atau visual, analisis perbandingan biaya produksi, serta analisis data menggunakan *software*.

4.1 Analisis Pengujian Material

Dalam penelitian ini, pengujian material merupakan tahap pendahuluan yang dilaksanakan sebelum pengaplikasian benda uji. Pengujian tersebut bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik setiap material penyusun sehingga dapat dipastikan kesesuaiannya sebagai bahan campuran dalam pengaplikasian roster beton.

4.1.1 Serbuk Cangkang Telur Ayam

Serbuk cangkang telur yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk dari cangkang telur ayam. Hal ini dikarenakan, cangkang telur ayam memiliki keunggulan pada kemudahan pemrosesan karena strukturnya yang lebih tipis dan porus, sehingga sangat efektif saat diolah menjadi serbuk halus, meskipun memiliki keterbatasan pada kuat tekan dan risiko dari membrannya.

1. Pengujian Berat Jenis Serbuk Cangkang Telur Ayam

Pengujian berat jenis terhadap serbuk cangkang ayam bertujuan guna perencanaan kebutuhan dari serbuk cangkang telur ayam sebagai bahan substitusi parsial semen pada pembuatan roster beton. Berikut data pengujian berat jenis pada **Tabel 4.1** dan hasil perhitungan berat jenis serbuk cangkang telur ayam pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4. 1 Hasil pengujian Berat Jenis Cangkang Telur Ayam

Pengujian	Notasi	Hasil	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh	S	200	Gram
Berat benda uji kering oven	A	197,6	Gram
Berat Piknometer + Air	B	704,5	Gram
Berat Piknometer + benda uji jenuh kering permukaan + Air	C	840,5	Gram

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Berat Jenis Cangkang Telur Ayam

Perhitungan	Notasi	Hasil	Satuan
Berat jenis curah kering (Sd)	$\frac{A}{(B + S - C)}$	3,088	gr/cm ³
Berat jenis curah jenuh kering permukaan (Ss)	$\frac{S}{(B + S - C)}$	3,125	gr/cm ³
Berat piknometer diisi air 25°C (Sa)	$\frac{A}{(B + A - C)}$	3,208	gr/cm ³
Penyerapan air (Sw)	$\frac{S - A}{A} \times 100\%$	1,215	%

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Berdasarkan **Tabel 4.1** dan **Tabel 4.2** didapatkan hasil pengujian berat jenis pada serbuk cangkang telur ayam pada kondisi curah jenuh kering permukaan sebesar 3,125 gr/cm³. Hasil tersebut berada dalam rentang 3,10 – 3,15 gr/cm³, sehingga telah memenuhi hasil dari SNI 15-2531-1991. Oleh karena itu, serbuk cangkang telur ayam yang digunakan sebagai bahan substitusi parsial terhadap semen dalam pembuatan roster beton dapat dinyatakan memenuhi syarat digunakan karena memiliki berat jenis yang sesuai dengan standar.

4.1.2 Butiran Batu Bata

Pengujian butiran batu bata bertujuan untuk memeriksa karakteristik pasir yang akan digunakan sebagai bahan substitusi parsial pasir. Pengujian yang dilakukan pada butiran batu bata untuk mengetahui besarnya hasil dari pengujian kadar lumpur, modulus kehalusan, dan berat jenis serta penyerapan air.

1. Pengujian Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur bertujuan untuk mengetahui persentase kandungan kadar lumpur. Hal ini dikarenakan, keberadaan lumpur yang berlebih pada kandungan batu bata dapat menurunkan mutu dari roster beton tersebut. Metode pengujian kadar lumpur dapat diatur dalam SNI 03-4142-1996. Berikut **Tabel 4.3** Data pengujian kadar lumpur pada butiran batu bata.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Sistem Kocokan

Pengujian Pemeriksaan	Tinggi (ml)
Tinggi lumpur (A)	232
Tinggi pasir (batu bata) (B)	225

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Berdasarkan perolehan data pemeriksaan tersebut, dapat dilakukan perhitungan kadar lumpur dengan menggunakan **Persamaan (3.2)**

Perhitungan:

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{(232 - 225)}{232} \times 100\% = 3,02\%$$

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan diperoleh nilai kadar lumpur pada butiran batu bata sebagai bahan substitusi parsial pasir sebesar 3,02%. Menurut SNI 03-6820-2002, bahwa kandungan kadar lumpur pada agregat halus tidak boleh melebihi 5%. Hal ini dikarenakan jika semakin banyak kadar lumpur yang terkandung dalam agregat halus maka akan menurunkan kualitas dalam pengikatan antar material campuran roster beton.

2. Pengujian Gradasi

Pengujian gradasi butiran batu bata dilakukan untuk menentukan butiran pasir berdasarkan distribusi ukuran saringan yang beragam. Pada penelitian ini, limbah batu bata yang sudah dihancurkan menjadi serbuk akan dijadikan

sebagai bahan substitusi parsial pasir lalu di uji gradasi agar lolos saringan menjadi butiran pasir. Pengujian tersebut akan menghasilkan data berat tertinggal yang kemudian dianalisis dan dihitung untuk mendapatkan persentase lolos kumulatif dan berat yang tertinggal kumulatif. Syarat yang digunakan dalam pengujian gradasi pasir telah didasarkan pada SNI 1970-2016 bahwa ukuran butiran yang lolos di saringan ukuran 4,75 mm (No.4) dan tertahan di saringan 0,075 mm (No. 200). Berikut **Tabel 4.4** data hasil pengujian gradasi butiran batu bata sebagai substitusi parsial pasir.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Gradasi Butiran Batu-Bata

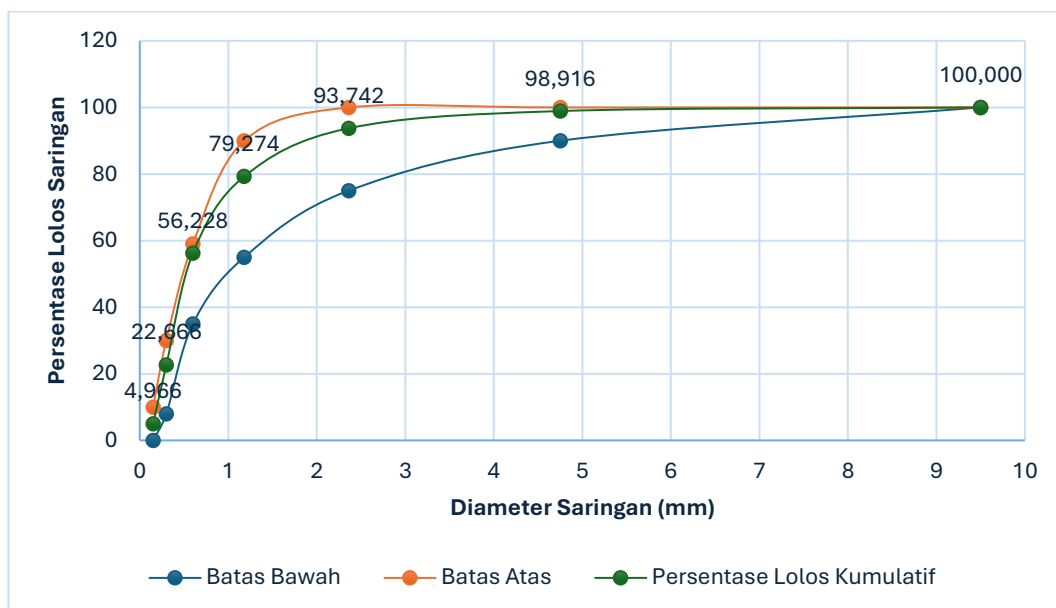
Ukuran Saringan	Berat Tertinggal	Persentase Berat Tertinggal	Berat Tertinggal Kumulatif	Persentase Lolos Kumulatif
(mm)	(gr)	(%)	(%)	(%)
9,5	0	0	0	100
4,75	5,42	1,08	1,084	98,916
2,36	25,87	5,17	6,258	93,742
1,18	72,34	14,47	20,726	79,274
0,60	115,23	23,05	43,772	56,228
0,30	167,81	33,56	77,334	22,666
0,15	88,50	17,70	95,034	4,966
0,075	16,14	3,23	98,262	1,738
Pan	6,79	1,36	100	0
Total (W)	498,1	100		
Modulus kehalusan :			244,208	

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Berdasarkan hasil pengujian gradasi, diperoleh data dan hitung dengan **Persamaan (3.1)**.

Perhitungan:

- a. Berat tertinggal (%) $= \frac{\text{berat tertinggal}}{\text{berat total}} \times 100\%$
 $= \frac{5,42}{498,1} \times 100\%$
 $= 1,09\%$
- b. Berat tertinggal kumulatif = persentase berat tertinggal + persentase berat tertinggal sebelumnya
 $= 1,09\% + 0\%$
 $= 1,09\%$
- c. Lolos kumulatif (%) $= 100\% - \text{persentase berat tertinggal}$
 $= 100\% - 1,09\%$
 $= 98,91\%$
- d. Modulus halus butir $= \frac{\Sigma \text{berat tertinggal kumulatif}}{100}$
 $= \frac{244,208}{100}$
 $= 2,44\%$
- e. Kehilangan berat selama pengujian gradasi
 Persentase kehilangan $= \frac{W - W_1}{W} \times 100\% < 2\%$
 $W = 500 \text{ gram}$
 $W_1 = 498,1$
 Persentase kehilangan $= \frac{500 - 498,1}{500} \times 100\% < 2\%$
 $= 1,90\% < 2\%$



Gambar 4. 1 Grafik Persentase Lolos Saringan Butiran Batu Bata

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Berdasarkan perolehan hasil pemeriksaan pengujian gradasi pada butiran batu bata, menunjukkan hasil modulus kehalusan sebesar 2,44%. Berdasarkan SNI 03-6820-2002, dalam pengujian gradasi pasir bahwa nilai modulus kehalusan sebesar 2% - 3% sehingga nilai yang diperoleh dalam pengujian ini sesuai standar. Oleh karena itu, butiran batu bata sebagai bahan substitusi parsial pasir dapat dilakukan dalam proses pembuatan roster beton.

3. Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air

Pengujian berat jenis bertujuan untuk melakukan perencanaan kebutuhan proporsi campuran (*mix design*) setiap bahan campuran pada pembuatan benda uji, dalam penelitian ini adalah pembuatan roster beton. Metode yang digunakan dalam pengujian ini sesuai dengan SNI 1970:2016. Data yang diperoleh dari pengujian ini berfungsi untuk menentukan rasio perbandingan antarmaterial secara akurat, sehingga setiap komponen bahan substitusi maupun utama dapat terikat dengan baik. Hal tersebut juga dengan memastikan bahwa perhitungan volume material dalam varisasi dapat sesuai dengan spesifikasi yang telah direncanakan. Berikut **Tabel 4.5** dan **Tabel 4.6** data dan hasil pengujian berat jenis sebagai dasar perhitungan proporsi varisasi.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Berat Jenis Butiran Batu-Bata

Pengujian	Notasi	Hasil	Satuan
Berat benda uji jenuh kering permukaan	S	200	Gram
Berat benda uji kering oven	A	193,3	Gram
Berat Piknometer + Air	B	669,2	Gram
Berat Piknometer + benda uji jenuh kering permukaan + Air	C	777,2	Gram

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Berat Jenis Batu-Bata

Perhitungan	Notasi	Hasil	Satuan
Berat jenis curah kering (Sd)	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2,101	gr/cm ³
Berat jenis curah jenuh kering permukaan (Ss)	$\frac{S}{(B + S - C)}$	2,174	gr/cm ³
Berat piknometer diisi air 25°C (Sa)	$\frac{A}{(B + A - C)}$	2,266	gr/cm ³
Penyerapan air (Sw)	$\frac{S - A}{A} \times 100\%$	3,466	%

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Berdasarkan **Tabel 4.5** dan **Tabel 4.6**, diperoleh nilai berat jenis 2,174 gr/cm³ dan penyerapan air 3,466%. Nilai tersebut telah sesuai dengan SNI 1970:2016, yaitu antara 1,6 gr/cm³ - 3,3 gr/cm³. Dengan demikian, butiran batu bata dapat digunakan sebagai bahan substitusi parsial pasir karena telah memenuhi ketentuan standar dan layak dalam campuran pembuatan roster beton.

4.1.3 Pasir

Pengujian pasir atau agregat halus bertujuan untuk mengetahui karakteristik material yang akan digunakan pada campuran pembuatan roster. Tahap ini sangat penting dilakukan, guna memastikan bahwa pasir yang digunakan dapat memenuhi

standar kualitas benda uji. Pengujian ini akan mengetahui besarnya kadar lumpur, modulus kehalusan, dan berat jenis serta penyerapan air.

1. Pengujian Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur bertujuan untuk mengidentifikasi serta membatasi presentase kandungan partikel halus atau pengotor yang terdapat dalam pasir. Hal ini dikarenakan, keberadaan lumpur yang berlebih akan menurunkan daya rekat antara semen dan pasir. Metode pengujian kadar lumpur dapat diatur dalam SNI 03-4142-1996. Berikut **Tabel 4.7** data pengujian kadar lumpur.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Pasir

Pengujian Pemeriksaan	Tinggi (ml)
Tinggi pasir + lumpur (A)	205
Tinggi pasir (B)	200

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Berdasarkan perolehan data pemeriksaan tersebut, dapat dilakukan analisis dan perhitungan menggunakan **Persamaan (3.2)**

Perhitungan:

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{(205 - 200)}{205} \times 100\% = 2,44\%$$

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan diperoleh nilai kadar lumpur pada pasir sebesar 2,44%. Berlandaskan pada SNI 03-6820-2002, bahwa kandungan kadar lumpur pada pasir tidak boleh melebihi 5%. Hal ini dikarenakan, jika semakin banyak kadar lumpur yang terkandung dalam pasir maka akan menurunkan kualitas pasir dalam pengikatan antara semen dan pasir.

2. Pengujian Gradasi

Pengujian gradasi pasir memiliki tujuan untuk mengelompokkan butiran pasir dengan mengacu pada ukuran saringan yang berbeda-beda. Proses pengujian ini akan menghasilkan informasi berupa berat yang tertinggal, yang kemudian akan dianalisis untuk mendapatkan persentase kumulatif yang lolos serta berat kumulatif yang tertinggal. Syarat metode pengujian gradasi pasir telah didasarkan pada SNI 1970-2016 bahwa ukuran butiran yang lolos di saringan

ukuran 4,75 mm (No.4) dan tertahan di saringan 0,075 mm (No. 200). Berikut **Tabel 4.9** data hasil pengujian gradasi pasir.

Tabel 4. 8 Data Hasil Pengujian Gradasi Pasir

Ukuran Saringan	Berat Tertinggal	Persentase Berat Tertinggal	Berat Tertinggal Kumulatif	Persentase Lolos Kumulatif
(mm)	(gr)	(%)	(%)	(%)
9,5	0	0	0	100
4,75	1,4	0,28	0,280	99,720
2,36	5,82	1,16	1,444	98,556
1,18	68,7	13,74	15,184	84,816
0,60	112,46	22,49	37,676	62,324
0,30	145,79	29,16	66,834	33,166
0,15	127,8	25,56	92,394	7,606
0,075	27,61	5,52	98	2
Pan	9,82	1,96	100	0
Total (W)	499,4	100		
Modulus Kehalusan :			213,812	

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Berdasarkan hasil pengujian gradasi, diperoleh data dan dihitung dengan **Persamaan (3.1)**

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat tertinggal (\%)} &= \frac{\text{berat tertinggal}}{\text{berat total}} \times 100\% \\
 &= \frac{1,4}{499,4} \times 100\% \\
 &= 0,28\%
 \end{aligned}$$

b. Berat tertinggal kumulatif = persentase berat tertinggal + persentase berat tertinggal sebelumnya

$$= 0,28\% + 0\%$$

$$= 0,28\%$$

c. Lolos kumulatif (%) = 100% - persentase berat tertinggal

$$= 100\% - 0,28\%$$

$$= 99,72\%$$

d. Modulus halus butir = $\frac{\Sigma \text{berat tertinggal kumulatif}}{100}$

$$= \frac{213,812}{100}$$

$$= 2,14\%$$

e. Kehilangan berat selama pengujian gradasi

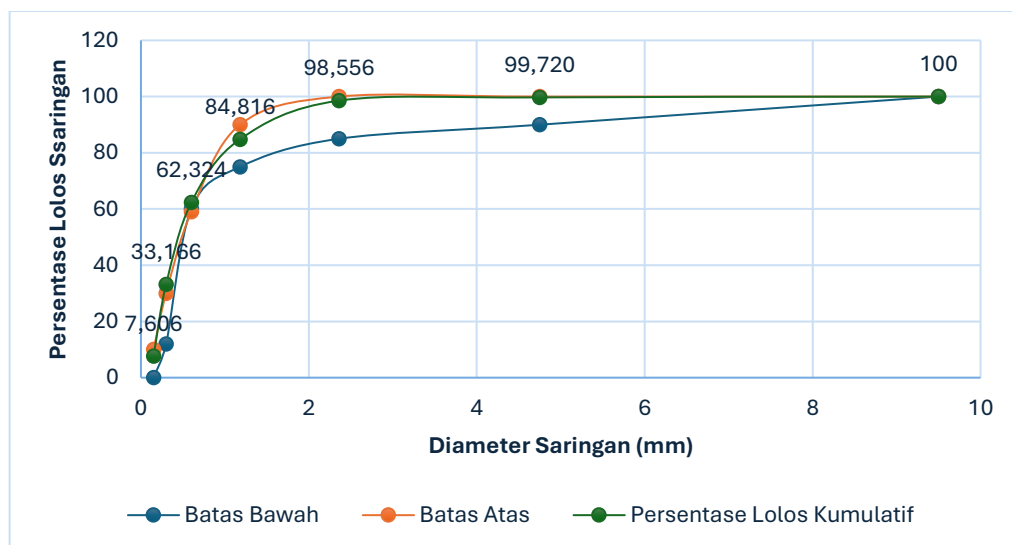
$$\text{Persentase kehilangan} = \frac{W - W_1}{W} \times 100\% < 2\%$$

$$W = 500 \text{ gram}$$

$$W_1 = 499,4$$

$$\text{Persentase kehilangan} = \frac{500 - 499,4}{500} \times 100\% < 2\%$$

$$= 0,60\% < 2\%$$



Gambar 4. 2 Grafik Persentase Lolos Saringan Pasir

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Berdasarkan perolehan hasil pemeriksaan pengujian gradasi pada pasir, menunjukkan hasil modulus kehalusan sebesar 2,14%. Berdasarkan SNI 03-6820-2002, dalam syarat pengujian gradasi pasir nilai modulus kehalusan sebesar 2% - 3% sehingga nilai yang diperoleh dalam pengujian ini sudah sesuai standar dan layak dipakai dalam campuran roster.

3. Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air

Pengujian berat jenis dan penyerapan air bertujuan untuk melakukan perencanaan kebutuhan proporsi campuran (*mix design*) setiap bahan campuran pada pembuatan benda uji. Metode yang digunakan dalam pengujian ini sesuai dengan SNI 1970:2016. Data yang diperoleh dari pengujian ini berfungsi untuk menentukan rasio perbandingan antarmaterial secara akurat, sehingga setiap komponen bahan substitusi maupun utama dapat terikat dengan baik. Hal tersebut juga dengan memastikan bahwa perhitungan volume material dalam varisasi dapat sesuai dengan spesifikasi yang telah direncanakan. Berikut **Tabel 4.9** dan **Tabel 4.10** data dan hasil pengujian berat jenis sebagai dasar perhitungan proporsi varisasi.

Tabel 4. 9 Data Pengujian Berat Jenis Pasir

Pengujian	Notasi	Hasil	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh	S	200	Gram
Berat benda uji kering oven	A	193	Gram
Berat Piknometer + Air	B	708,3	Gram
Berat Piknometer + benda uji jenuh kering permukaan + Air	C	831,3	Gram

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Berat Jenis Pasir

Perhitungan	Notasi	Hasil	Satuan
Berat jenis curah kering (Sd)	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2,506	gr/cm ³

Perhitungan	Notasi	Hasil	Satuan
Berat jenis curah jenuh kering permukaan (Ss)	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2,597	gr/cm ³
Berat piknometer diisi air 25°C (Sa)	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2,757	gr/cm ³
Penyerapan air (Sw)	$\frac{S - A}{A} \times 100\%$	3,627	%

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Berdasarkan **Tabel 4.9** dan **Tabel 4.10**, diperoleh nilai berat jenis 2,597 gr/cm³. Nilai tersebut telah sesuai dengan SNI 1970:2016, yaitu antara 1,6 gr/cm³ - 3,3 gr/cm³ dan penyerapan air kurang dari 5%. Dengan demikian, pasir tersebut telah memenuhi ketentuan standar dan layak dalam campuran pembuatan roster beton.

4.1.4 Semen

Kualitas semen sebagai bahan pengikat utama dalam campuran roster beton dilakukan melalui pengujian waktu ikat awal semen. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari semen portland yang dipakai.

1. Pengujian waktu ikat awal

Pengujian waktu ikat awal (*Setting Time*) semen portland bertujuan untuk mengetahui durasi yang dibutuhkan semen sejak tercampur dengan air hingga mulai kehilangan plastisitasnya. Pengujian ini dilakukan sesuai SNI 2049-8:2021 menggunakan metode jarum vicat. Pengujian ini menggunakan alat vicat dengan jarum berdiameter 1 mm. Berdasarkan hasil pengamatan, waktu ikat awal ditentukan saat jarum mencapai penetrasi 25 mm dari permukaan (atau menyisakan jarak 5 mm dari dasar plat). Berikut **Tabel 4.11** hasil pengujian waktu ikat awal semen.

Tabel 4. 11 Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland

No	Waktu Penurunan Kumulatif (menit)	Penurunan Jarum (mm)	Merk Semen Portland
1	15	38	Semen Gresik
2	30	34	
3	45	25	

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Berdasarkan **Tabel 4.11** pengujian ikat awal semen bertujuan untuk mengetahui waktu mulai mengerasnya pasta semen setelah dicampurkan dengan air. Dari hasil pengujian tersebut, didapatkan pada menit ke-15 jarum turun sebesar 38 mm dapat diartikan pasta semen masih sangat plastis, pada menit ke-30 penurunan menjadi 34 mm dapat diartikan mulai adanya proses pengikatan, serta menit ke-45 terjadi penurunan hingga 25 mm dapat diartikan tercapainya waktu ikat awal semen. Hal tersebut menunjukkan bahwa, waktu ikat awal semen terjadi pada 45 menit dengan penetrasi jarum sebesar 25 mm dan suhu pengujian sebesar 30° dapat mendukung proses pengikatan semen secara normal. Oleh karena itu, semen tersebut telah memenuhi uji ketentuan pengikatan awal semen yang sesuai dengan spesifikasi pada SNI 2049-8:2021, sehingga semen tersebut layak digunakan untuk campuran dalam pembuatan roster beton.

4.2 Analisis Pengujian Benda Uji

Analisis pengujian benda uji yang dilakukan oleh penulis berwujud roster beton. Pengujian yang dilakukan oleh penulis, antara lain pengujian kuat tekan, pengujian daya serap air, pengujian berat isi, pengamatan secara fisik atau visual, analisis perbandingan biaya, serta analisis data menggunakan *software* SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*). Pelaksanaan pada pengujian kuat tekan, pengujian daya serap air, pengujian berat isi, dan pengamatan secara fisik atau

visual dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil dan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.

4.2.1 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengukur sejauh mana roster beton yang diuji mampu menahan gaya tekan vertikal sampai pada titik keruntuhan. Besaran kuat tekan menunjukkan tingkat tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh benda per satuan luas penampang dan diungkapkan dalam kg/cm². Dalam penelitian ini, penulis merancang roster beton berdasarkan SNI 03-0349-1989. Uji kuat tekan melibatkan tiga sampel untuk setiap variasi pada usia 28 hari, agar dapat memperoleh nilai kuat tekan rata-rata yang tepat. Berikut adalah **Tabel 4.12** yang memperlihatkan hasil pengujian kuat tekan untuk roster beton.

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Roster

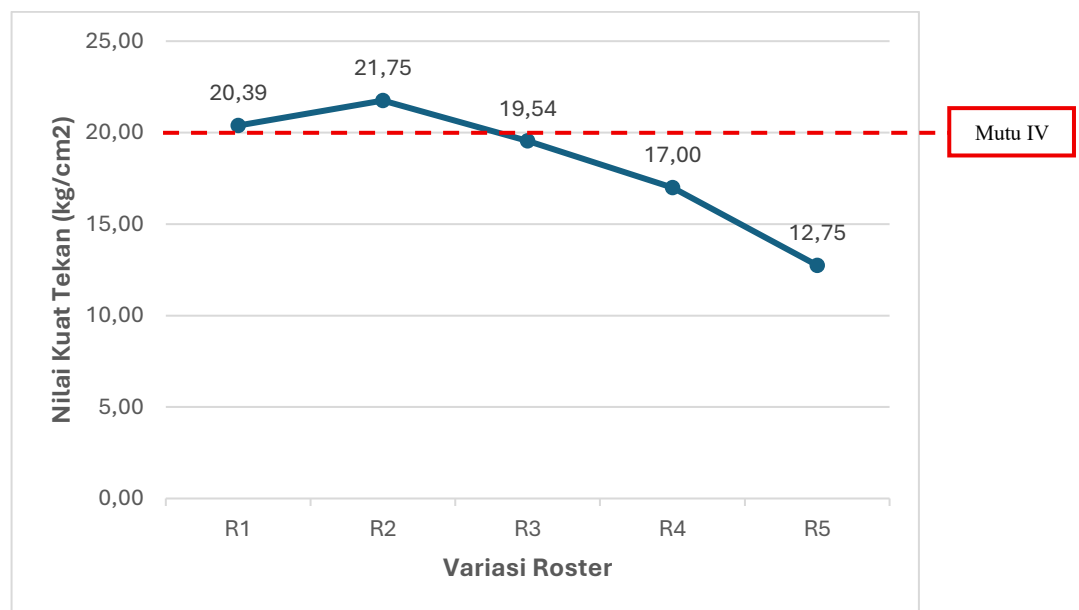
Variasi Roster	Umur	Ukuran Penampang Bruto	Gaya Tekan Maksimal	Nilai Kuat Tekan per Benda Uji	Kuat Tekan Rata-Rata	Kuat Tekan Rata-Rata
	Hari	mm ²	N	N/mm ²	N/mm ²	Kg/cm ²
R1 (0% ; 0%)	28	20000	51000	2,55	2,00	20,39
		20000	43000	2,15		
		20000	26000	1,30		
R2 (3% ; 10%)		20000	45000	2,25	2,13	21,75
		20000	43000	2,15		
		20000	40000	2,00		
R3 (5% ; 12%)		20000	38000	1,90	1,93	19,71
		20000	40000	2,00		
		20000	38000	1,90		
R4 (7% ; 15%)		20000	36000	1,80	1,67	17,00
		20000	34000	1,70		
		20000	30000	1,50		
R5 (10% ; 17%)		20000	36000	1,80	1,25	12,75
		20000	19000	0,95		
		20000	20000	1,00		

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

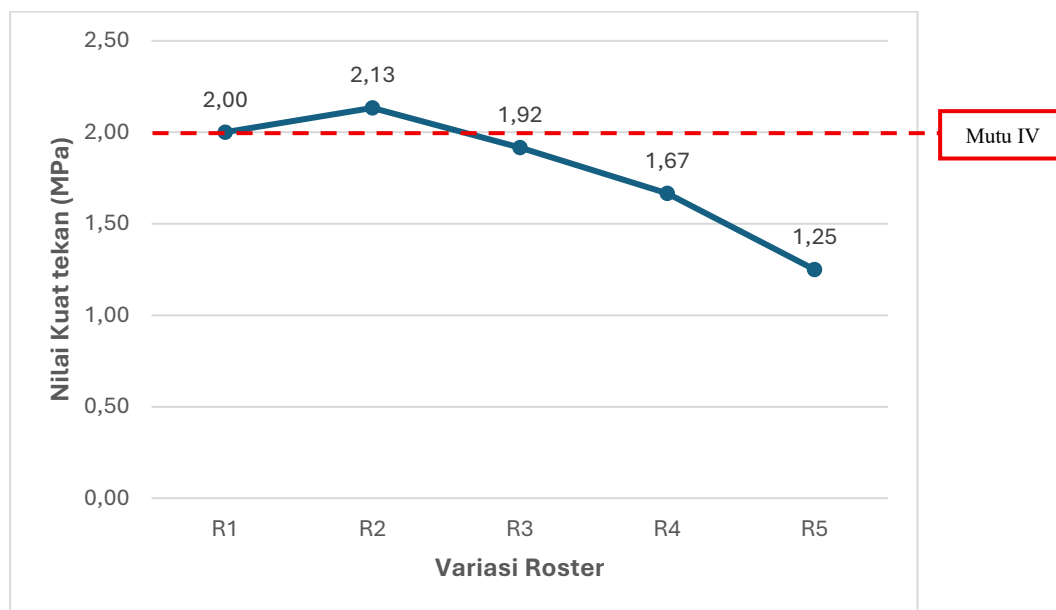
Tabel 4. 13 Klasifikasi Mutu Roster Menurut SNI 03-0349-1989

Variasi Roster	Kuat Tekan Bruto Rata-Rata Umur 28 Hari		Kelas Mutu menurut SNI 03-0349-1989	Keterangan
	N/mm ²	Kg/cm ²		
R1 (0% ; 0%)	2,00	20,39	IV	Memenuhi
R2 (3% ; 10%)	2,13	21,75	IV	Memenuhi
R3 (5% ; 12%)	1,93	19,75	-	Tidak memenuhi
R4 (7% ; 15%)	1,67	17,00	-	Tidak memenuhi
R5 (10% ; 17%)	1,25	12,75	-	Tidak memenuhi

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

**Gambar 4. 3** Grafik Hasil Kuat Tekan Roster Umur 28 Hari (kg/cm²)

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026



Gambar 4. 4 Grafik Hasil Kuat Tekan Roster Umur 28 Hari (Mpa)
Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Berdasarkan gambar grafik diatas, kuat tekan pada roster beton R2 dengan campuran cangkang telur ayam 3% dan batu bata 10% mengalami kenaikan bila dibandingkan dengan roster konvensional sebesar 0,13 MPa dengan rata rata nilai kuat tekannya sebesar 2,13 Mpa, maka dari itu roster beton berlubang variasi R2 berada pada mutu IV.

Pada kuat tekan roster beton campuran cangkang telur ayam 5% dan batu bata 12% mengalami sedikit penurunan jika dibandingkan dengan roster konvensional sebesar 0,07 MPa dengan rata-rata kuat tekannya sebesar 1,93 MPa, namun penurunan yang tergolong tidak signifikan pada roster beton variasi R3 dengan campuran cangkang telur ayam 5% dan batu bata 12% tersebut tidak memenuhi syarat minimum mutu SNI 03-0349-1989 bata beton berlubang mutu IV.

Pada kuat tekan roster beton campuran cangkang telur ayam 7% dan batu bata 15% terjadi penurunan jika dibandingkan dengan roster konvensional sebesar 0,33 MPa dengan rata-rata kuat tekannya sebesar 1,67 MPa, namun penurunan yang terjadi pada roster beton variasi R4 dengan campuran cangkang telur ayam 7% dan batu bata 15% tersebut tidak memenuhi syarat minimum mutu SNI 03-0349-1989 bata beton berlubang mutu IV.

Pada kuat tekan roster beton campuran cangkang telur ayam 10% dan batu bata 17% terjadi penurunan jika dibandingkan dengan roster konvensional sebesar 0,75 MPa dengan rata-rata kuat tekannya sebesar 1,93 MPa, namun penurunan yang terjadi pada roster beton variasi R4 dengan campuran cangkang telur ayam 10% dan batu bata 17% tersebut tidak memenuhi syarat minimum mutu SNI 03-0349-1989 bata beton berlubang mutu IV.

Berdasarkan grafik diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa roster variasi R2 dengan adanya substitusi serbuk cangkang telur 3% dari berat semen dan butiran pecahan batu-bata 10% dari berat agregat halus pada elemen material penyusun roster mendapati nilai kuat tekan yang lebih tinggi dari nilai kuat tekan roster konvensional sebesar 0,33 MPa, maka diartikan bahwa variasi tersebut mencapai hasil optimum dimana nilai kuat tekannya melebihi kuat tekan roster normal. Pada penelitian yang dilakukan Akbar dan Arini (2023) juga menyimpulkan bahwa komposisi penggunaan cangkang telur paling baik dalam campuran beton adalah kurang lebih 2,5%. Sedangkan pada penelitian yang menggunakan limbah batu bata dalam campuran beton yang dilakukan oleh Yulian dkk. (2023) juga menyimpulkan bahwa persentase 14% adalah yang paling optimum. Alasannya karena serbuk cangkang telur mengisi rongga mikro dan menyumbang kalsium, sementara butiran batu bata menyumbang silika aktif serta tekstur kasar, yang berpadu menciptakan reaksi kimia pengikat dan struktur beton yang jauh lebih padat serta saling mengunci. Selain itu, pada roster dengan penambahan serbuk cangkang telur ayam dan butiran batu-bata pada masing-masing variasi lain seperti R3 (5%, 12%), R4 (7%, 15%) dan R5 (10%, 17%) mulai terjadi penurunan dan tidak memenuhi syarat batas minimum kuat tekan menurut SNI 03-0349-1989 bata beton berlubang pada mutu IV. Pernyataan itu sejalan dengan studi yang dilakukan (Hermawan dkk., 2021), yang menyatakan bahwa peningkatan persentase limbah batu bata yang dicampurkan ke dalam beton akan berakibat pada penurunan kemampuan tekan beton.

4.2.2 Pengujian Daya Serap Air

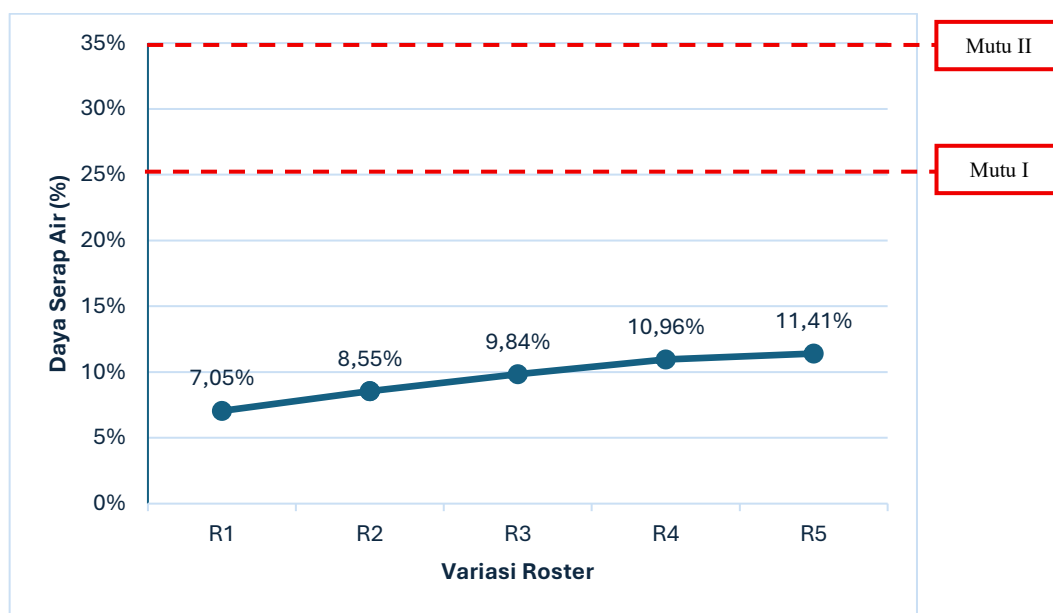
Pengujian penyerapan air dilakukan untuk menilai seberapa besar roster beton dapat menyerap air dengan adanya bahan substitusi sebagian berupa serbuk cangkang telur ayam dan potongan batu bata. Dalam pengujian ini terdapat lima variasi, dimana setiap variasi terdiri dari tiga sampel, dan pengujian dilakukan pada benda uji yang telah berumur 28 hari. Prosedur pengujian ini mengacu pada SNI 03-0349-1989 yang mengatur tentang kualitas bata beton berlubang, lalu dilakukan kalkulasi berdasarkan **Persamaan (2.1)**. Berikut ini adalah **Tabel 4.14** yang menunjukkan hasil dari pengujian daya serap air pada roster beton.

Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Penyerapan Air Pada Roster

Variasi	Berat Basah	Berat Kering	Penyerapan Air	Rata-Rata Penyerapan Air	Kelas Mutu Roster
	gram	gram	%	%	
R1 (0% ; 0%)	5500	5135	7,11	7,05	I
	5460	5100	7,06		
	5520	5160	6,98		
R2 (3% ; 10%)	5290	4875	8,51	8,55	I
	5320	4885	8,90		
	5260	4860	8,23		
R3 (5% ; 12%)	4800	4375	9,71	9,84	I
	4830	4400	9,77		
	4775	4340	10,02		
R4 (7% ; 15%)	4760	4305	10,57	10,96	I
	4700	4230	11,11		
	4770	4290	11,19		
R5 (10% ; 17%)	4695	4230	10,99	11,41	I
	4720	4215	11,98		
	4700	4225	11,24		

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Berdasarkan **Tabel 4.14**, seluruh variasi roster beton memenuhi syarat maksimal penyerapan air yang telah dilandaskan pada SNI 03-0349-1989, hasil penyerapan pada masing-masing variasi berturut-turut adalah sebesar 7,05% ; 8,55% ; 9,84% ; 10,96% ; 11,41%.



Gambar 4. 5 Grafik Hasil Pengujian Penyerapan Air Roster
Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Berdasarkan grafik pada **Gambar 4.5** terlihat adanya peningkatan seiring jumlah persentase penambahan serbuk cangkang telur ayam dan butiran pecahan batu-bata pada masing-masing variasi. Nilai persentase penyerapan air pada roster pada variasi R1 yang merupakan roster konvensional tanpa bahan tambah adalah 7,05% sebagai acuan untuk benda uji lainnya.

Nilai penyerapan air pada roster beton variasi R2 dengan campuran serbuk cangkang telur ayam 3% dan pecahan batu-bata 10% terjadi peningkatan jika dibandingkan dengan roster konvensional yaitu sebesar 8,55%. Jika dibandingkan dengan roster konvensional, pada dasarnya roster pada variasi ini mengalami penurunan mutu, akan tetapi masih dikategorikan pada mutu I menurut SNI 03-0349-1989.

Nilai penyerapan air pada roster beton variasi R3 dengan campuran serbuk cangkang telur ayam 5% dan pecahan batu-bata 12% terjadi peningkatan jika dibandingkan dengan roster konvensional yaitu sebesar 9,84%. Jika dibandingkan dengan roster konvensional, pada dasarnya roster pada variasi ini mengalami

penurunan mutu, akan tetapi masih dikategorikan pada mutu I menurut SNI 03-0349-1989.

Nilai penyerapan air pada roster beton variasi R4 dengan campuran serbuk cangkang telur ayam 7% dan pecahan batu-bata 15% terjadi peningkatan jika dibandingkan dengan roster konvensional yaitu sebesar 10,96%. Jika dibandingkan dengan roster konvensional, pada dasarnya roster pada variasi ini mengalami penurunan mutu, akan tetapi masih dikategorikan pada mutu I menurut SNI 03-0349-1989.

Nilai penyerapan air pada roster beton variasi R5 dengan campuran serbuk cangkang telur ayam 10% dan pecahan batu-bata 17% terjadi peningkatan jika dibandingkan dengan roster konvensional yaitu sebesar 11,41%. Jika dibandingkan dengan roster konvensional, pada dasarnya roster pada variasi ini mengalami penurunan mutu, akan tetapi masih dikategorikan pada mutu I menurut SNI 03-0349-1989.

Berdasarkan data penyerapan air yang diperoleh, semua variasi dengan masing-masing persentase penambahan limbah tergolong dalam mutu I menurut SNI 03-0349-1989 tentang syarat fisis bata beton berlubang dimana maksimal penyerapan airnya sebesar 25%. Dari data pengujian tersebut juga dapat dilihat bahwa grafik mengalami kenaikan seiring penambahan persentase masing-masing bahan tambah. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin banyak persentase penambahan serbuk cangkang telur ayam dan pecahan batu-bata maka akan semakin tinggi daya serap airnya yang mengakibatkan kualitas mutu roster menurun. Dalam studi yang dilakukan oleh (Sasmita dkk.,2019) ditemukan bahwa dengan meningkatnya jumlah penambahan cangkang telur ayam ke dalam mortar beton, penyerapan air pada mortar beton pun meningkat.

4.2.3 Pengujian Berat Isi

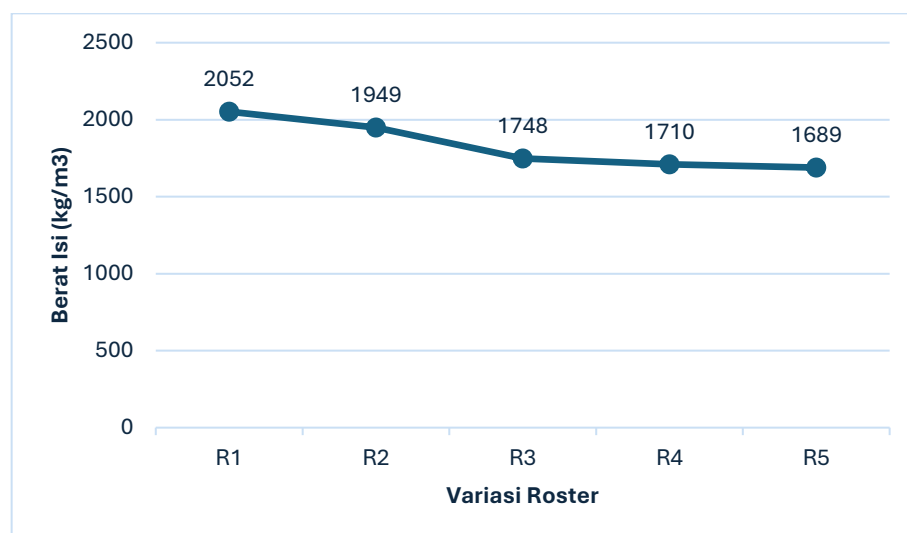
Pengujian berat isi bertujuan untuk mengidentifikasi nilai berat dari setiap benda yang diuji dari setiap variasi untuk mengambil kesimpulan mengenai dampak bahan substitusi parsial dari limbah cangkang telur ayam dan batu bata terhadap

berat roster secara keseluruhan. Berikut ini adalah **Tabel 4.16** yang menunjukkan pengujian berat isi pada roster.

Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Berat Isi Roster

Variasi Roster	Sampel	Berat	Volume Roster	Berat Isi	Rata-rata Berat Isi
		Kg	m ³	Kg/m ³	Kg/m ³
R1 (0% ; 0%)	A	5,135	0,0025	2054	2052
	B	5,100	0,0025	2040	
	C	5,160	0,0025	2064	
R2 (3% ; 10%)	A	4,875	0,0025	1950	1949
	B	4,885	0,0025	1954	
	C	4,860	0,0025	1944	
R3 (5% ; 12%)	A	4,375	0,0025	1750	1748
	B	4,400	0,0025	1760	
	C	4,340	0,0025	1736	
R4 (7% ; 15%)	A	4,305	0,0025	1722	1710
	B	4,230	0,0025	1692	
	C	4,290	0,0025	1716	
R5 (10% : 17%)	A	4,230	0,0025	1692	1689
	B	4,215	0,0025	1686	
	C	4,225	0,0025	1690	

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026



Gambar 4. 6 Grafik Hasil Pengujian Berat Isi Roster

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Pengujian berat isi ini menggunakan variasi roster R1 (0% ; 0%) sebagai acuan atau kontrol dalam penelitian. Variasi R1 merepresentasikan roster konvensional tanpa adanya campuran material alternatif, yang mencatatkan nilai rata-rata berat isi tertinggi sebesar 2052 kg/m^3 . Nilai dari roster normal ini berfungsi sebagai standar pembanding utama untuk mengukur sejauh mana pengaruh substitusi serbuk cangkang telur ayam dan pecahan batu bata terhadap karakteristik fisik roster pada variasi lainnya.

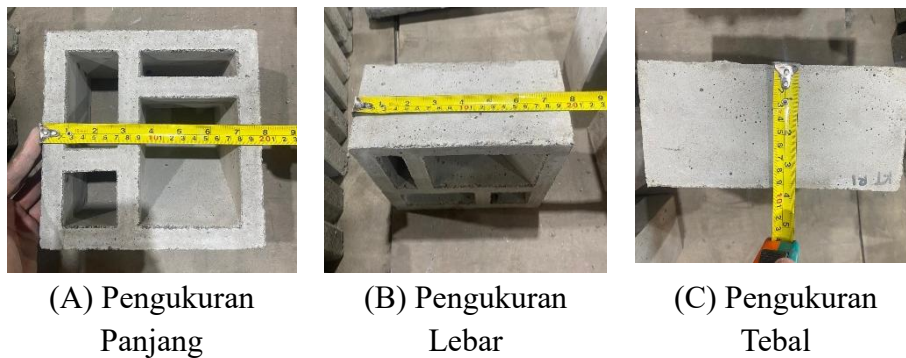
Berdasarkan data pengujian, penambahan material alternatif pada variasi awal langsung memicu tren penurunan bobot. Pada variasi R2 dengan substitusi serbuk cangkang telur ayam sebesar 3% dan pecahan batu bata sebesar 10%, nilai rata-rata berat isinya menyusut menjadi 1949 kg/m^3 . Penurunan ini berlanjut secara signifikan pada variasi R3 dengan proporsi campuran 5% dan 12%, di mana nilai rata-ratanya turun cukup tajam hingga menyentuh angka 1748 kg/m^3 .

Tren penurunan berat isi terus berlangsung secara kontras pada variasi dengan porsi limbah yang lebih besar. Variasi R4 yang menggunakan persentase substitusi serbuk cangkang telur 7% dan pecahan batu bata 15% menghasilkan berat rata-rata sebesar 1710 kg/m^3 . Bobot ini mencapai titik terendahnya pada variasi R5 dengan tingkat kandungan tertinggi, yaitu serbuk cangkang telur 10% dan pecahan batu bata 17%, yang hanya menyisakan berat rata-rata sebesar 1689 kg/m^3 .

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan serbuk cangkang telur ayam dan pecahan batu bata sebagai material substitusi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan berat isi roster beton. Hasil penelitian itu juga sejalan dengan penemuan yang menunjukkan bahwa pemanfaatan batu bata Penggaron mampu menurunkan berat beton sekitar 20% dibandingkan dengan berat beton normal (Putra & Salim, 2018). Karakteristik fisik roster terbukti menjadi semakin ringan secara linear seiring dengan meningkatnya persentase kedua material limbah tersebut di dalam campuran jika dibandingkan dengan roster konvensional.

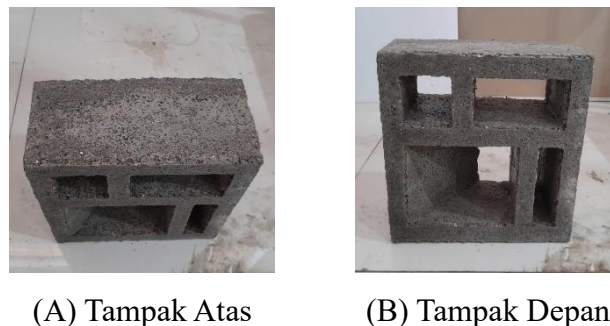
4.2.4 Pengujian Fisik atau Visual

Uji fisik atau visual pada roster beton dilaksanakan sesuai dengan ketentuan SNI 03-0349-1989 tentang klasifikasi bata beton berlubang. Dalam konteks ini, roster tersebut termasuk dalam kategori mutu IV, yang mencakup bahan yang digunakan untuk elemen yang tidak mengalami beban utama atau bagian struktural yang tidak bertanggung jawab atas beban utama. Hal ini berfungsi sebagai pemisah, serta komponen lain yang tidak terpapar hujan dan sinar matahari. Inovasi dalam roster beton ini harus mematuhi standar mutu cetakan yang harus menunjukkan tampilan bebas dari retakan dan cacat di sudut, bentuk yang sesuai dengan cetakan, dan ukuran yang presisi. Berikut **Gambar 4.7** menyajikan pengukuran hasil roster beton secara fisik atau visual.



Gambar 4. 7 Proses Pengukuran Dimensi Roster
Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Dapat dilihat pada **Gambar 4.7** diatas, pengukuran dimensi secara keseluruhan sisi baik panjang, lebar maupun tebal roster dilakukan guna memastikan keseragaman antar benda uji.



Gambar 4. 8 Pengamatan Fisik Dan Visual Roster Ramah Lingkungan
Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Dapat dilihat dari **Gambar 4.8** diatas merupakan visual roster dengan campuran serbuk cangkang telur dan butiran batu-bata. Secara visual, inovasi roster tersebut menghasilkan tekstur permukaan yang cenderung kasar, berpori dan tidak ada cacat ataupun retak pada tiap sisi maupun sudutnya. Walaupun roster tersebut menggunakan tambahan butiran batu-bata yang berwarna merah, material tersebut juga tidak ada pengaruh signifikan dari segi warna.

Penelitian ini dapat terindikasi bahwa roster dengan substitusi parsial cangkang telur ayam dan batu bata berpengaruh signifikan dari segi tekstur. Dapat disimpulkan bahwa semakin banyak campuran serbuk cangkang telur ayam dan butiran batu-bata maka akan semakin kasar dan berpori, akan tetapi dari segi ukuran dan sudutnya tetap seragam sesuai dengan bentuk cetakan yang digunakan tanpa adanya keretakan yang terjadi.

4.2.5 Analisis Perbandingan Biaya

Dalam analisis perbandingan biaya bertujuan untuk mengidentifikasi biaya yang diperlukan dalam proses pembuatan roster konvensional serta roster yang menggunakan bahan substitusi parsial berupa serbuk cangkang telur ayam dan pecahan batu bata. Harga satuan bahan didapatkan melalui dokumen Peraturan Wali Kota Semarang No. 31 Tahun 2025 tentang Standar harga satuan di lingkungan pemerintah Kota Semarang tahun anggaran 2026. Berikut **Tabel 4.16** rincian biaya yang dibutuhkan dalam setiap variasi.

Tabel 4. 16 Analisa Biaya Produksi Roster

Variasi	Bahan	Volume	Satuan	Harga (Rp)	Jumlah (Rp)	Total Biaya Benda Uji (Rp)
R1	Semen	1,969	kg	1.400	2.756,60	4.292,65
	Pasir	4,87	kg	275	1.339,25	
	Air	0,984	lt	200	196,80	
R2	Semen	1,733	kg	1.400	2.426,20	4.153,33
	Pasir	4,221	kg	275	1.160,78	
	Air	0,866	lt	200	173,20	
	CTA	0,234	kg	1.100	257,40	

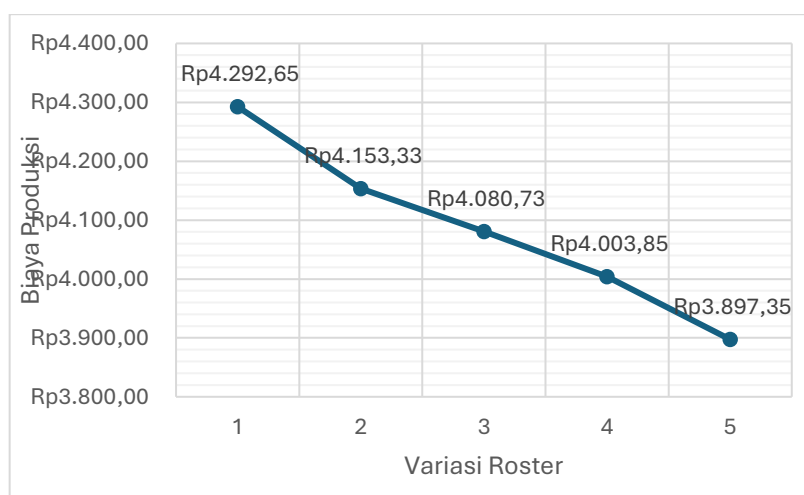
Variasi	Bahan	Volume	Satuan	Harga (Rp)	Jumlah (Rp)	Total Biaya Benda Uji (Rp)
	BB	0,543	Kg	250	135,75	
R3	Semen	1,575	kg	1.400	2.205	4.080,73
	Pasir	4,091	kg	275	1.125,03	
	Air	0,788	lt	200	157,60	
	CTA	0,391	kg	1.100	430,10	
	BB	0,652	kg	250	163,00	
R4	Semen	1,418	kg	1.400	1.985,20	4.003,85
	Pasir	3,896	kg	275	1.071,40	
	Air	0,709	lt	200	141,80	
	CTA	0,547	kg	1.100	601,70	
	BB	0,815	kg	250	203,75	
R5	Semen	1,181	kg	1.400	1.653,40	3.897,35
	Pasir	3,766	kg	275	1.035,65	
	Air	0,591	lt	200	118,20	
	CTA	0,781	kg	1.100	859,10	
	BB	0,924	kg	250	231,00	

Keterangan :

CTA : Serbuk cangkang telur ayam

BB : Butiran batu bata

Berikut **Gambar 4.9** Menyajikan Grafik Harga Roster Beton Per Benda Uji.



Gambar 4. 9 Grafik Analisa Biaya Produksi Roster

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Berdasarkan pada **Gambar 4.9** mengenai perincian anggaran biaya yang diperlukan untuk pelaksanaan produksi pada tiap variasi roster, bisa ditegaskan bahwa harga roster konvensional (R1) jauh lebih tinggi sebesar Rp 4.292/produksi daripada roster nonkonvensional (R2, R3, R4, dan R5). Namun, harga terendah yang dihasilkan oleh roster nonkonvensional terdapat pada roster R5 sebesar Rp 3.897/produksi dengan campuran serbuk cangkang telur ayam sebesar 10%, butiran batu bata sebesar 17%, semen 15%, serta pasir 58%. Hal ini disebabkan karena kebutuhan dari inovasi roster ramah lingkungan menggunakan limbah produksi rumah tangga maupun pabrik untuk dijadikan sebagai substitusi parsial semen dan pasir, sehingga harga roster nonkonvensional lebih murah dari roster konvensional.

4.2.6 Analisis Data Menggunakan *Software IBM SPSS Statistics*

Untuk memperkuat analisis kuantitatif terhadap karakteristik mekanis roster beton ramah lingkungan, dilakukan pengujian statistik terhadap data kuat tekan umur 28 hari menggunakan *software* SPSS. Tahapan analisis data dalam subbab ini dibagi menjadi tiga bagian utama. Pertama, melakukan pengujian prasyarat yang terdiri dari uji normalitas dan homogenitas varians sebagai syarat mutlak analisa parametrik. Kedua, dilakukan pengujian ANOVA beserta uji lanjut post hoc untuk membuktikan ada tidaknya perbedaan retak atau penurunan kekuatan yang signifikan akibat variasi kadar limbah. Ketiga, dilakukan analisis regresi linear berganda untuk mengetahui konstanta penurunan dan konstanta determinasi dari kedua limbah substitusi tersebut terhadap kinerja kuat tekan roster beton.

1. Uji Prasyarat Analisis Data

Pengujian prasyarat ini dengan tujuan guna memastikan bahwa data yang didapat dari laboratorium bersifat valid, objektif, dan tidak bias. Pengujian prasyarat meliputi uji normalitas untuk melihat distribusi data dan uji homogenitas untuk melihat kesamaan varians antar kelompok sampel.

a. Uji Normalitas Data Kuat Tekan

Uji normalitas dilakukan guna mengetahui apakah nilai residual atau sebaran data kuat tekan roster beton pada setiap variasi campuran berdistribusi secara normal atau tidak. Mengingat jumlah sampel per variasi campuran dalam penelitian ini berukuran kecil ($n < 50$), maka metode evaluasi yang digunakan adalah *Shapiro-Wilk*. Penentuan keputusan ditetapkan berdasarkan nilai signifikansi (Sig.), dengan kriteria bahwa data dinyatakan berdistribusi normal jika nilai Sig. $> 0,05$. Berikut **Tabel 4.17** hasil uji normalitas kuat tekan roster beton (*Shapiro-Wilk*)

Tabel 4. 17 Hasil Uji Normalitas Variasi Roster Terhadap Kuat Tekan (*Shapiro-Wilk*)

<i>Tests of Normality</i>							
	VARIASI	<i>Kolmogorov-Smirnov^a</i>			<i>Shapiro-Wilk</i>		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
KUAT TEKAN	Normal	.273	3	.	.945	3	.549
	CTA 3% dan BB 10%	.219	3	.	.987	3	.780
	CTA 5% dan BB 12%	.253	3	.	.964	3	.637
	CTA 7% dan BB 15%	.253	3	.	.964	3	.637
	CTA 10% dan BB 17%	.367	3	.	.794	3	.100
a. Lilliefors Significance Correction							

Berdasarkan **Tabel 4.17**, seluruh variasi campuran memiliki nilai Sig. $> 0,05$, sehingga dapat disimpulkan bahwa data hasil pengujian kuat tekan roster beton berdistribusi normal dan layak digunakan untuk analisis parametrik selanjutnya.

b. Uji Homogenitas Varians

Pengujian homogenitas varians dilaksanakan setelah informasi dipastikan berdistribusi normal. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan guna mengetahui apakah varians sebaran data dari beberapa kelompok variasi campuran roster beton memiliki sifat yang seragam (homogen) atau tidak. Kesamaan varians ini menjadi prasyarat mutlak dalam analisis One-Way ANOVA. Pengujian dilakukan dengan metode Levene's Test, di mana

varians data dinyatakan homogen apabila nilai Signifikansi (Sig.) $> 0,05$. Berikut **Tabel 4.18** hasil uji homogenitas varians.

Tabel 4. 18 Hasil Uji Homogenitas Varians Metode *Levene's Test*

<i>Test of Homogeneity of Variances</i>					
		<i>Levene Statistic</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig.</i>
KUAT TEKAN	<i>Based on Mean</i>	4.733	4	10	.021
	<i>Based on Median</i>	.856	4	10	.522
	<i>Based on Median and with adjusted df</i>	.856	4	4.373	.554
	<i>Based on trimmed mean</i>	4.238	4	10	.029

Hasil output SPSS menunjukkan nilai Sig. 0,021. Karena $0,021 < 0,05$, maka varians data kuat tekan dari keempat variasi roster beton adalah tidak homogen.

2. Pengujian Hipotesis Komparatif

Pengujian hipotesis komparatif dilakukan untuk membuktikan ada tidaknya perbedaan rata-rata (*mean*) kuat tekan roster beton yang signifikan secara statistik akibat variasi substitusi limbah cangkang telur dan butiran batu bata. Berdasarkan **Tabel 4.18** hasil pengujian prasyarat sebelumnya, ditemukan bahwa adanya varians data kuat tekan antar kelompok campuran bersifat tidak homogen. Oleh karena itu, pengujian hipotesis tidak menggunakan uji *One-Way ANOVA* standar, melainkan menggunakan metode *Welch ANOVA (Robust Tests of Equality of Means)*. Metode *Welch* ini secara matematis mengoreksi nilai derajat kebebasan (*df*) sehingga tetap memberikan kesimpulan yang valid meskipun asumsi homogenitas varians tidak terpenuhi. Hipotesis yang diuji adalah sebagai berikut:

- H_0 : Tidak adanya perbedaan kuat tekan roster beton yang signifikan antar variasi campuran limbah.
- H_1 : Minimal ada satu pasang variasi campuran roster beton yang memiliki perbedaan kuat tekan secara signifikan.

Pengujian dilakukan pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$), dengan ketentuan jika nilai $\text{Sig.} < 0,05$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.

a. Hasil Analisis Varians (*Welch* ANOVA)

Analisis statistik menggunakan *Welch* Anova dilakukan untuk mengetahui penggunaan variasi substitusi parsial serbuk cangkang telur ayam dan butiran batu bata memberikan dampak yang signifikan terhadap nilai kekuatan tekan pada roster beton. Pengujian tersebut dipilih, dikarenakan hasil uji homogenitas varians menunjukkan bahwa data tersebut tidak memenuhi asumsi homogenitas varians. Hasil output pengujian signifikansi menggunakan metode *Welch* ANOVA dengan software SPSS disajikan pada **Tabel 4.19** berikut.

Tabel 4. 19 Hasil Pengujian Signifikansi Metode *Welch* ANOVA

<i>Robust Tests of Equality of Means</i>				
KUAT TEKAN				
	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
<i>Welch</i>	3.992	4	4.657	.088
a. <i>Asymptotically F distributed.</i>				

Berdasarkan **Tabel 4.19**, didapatkan hasil dari *Welch Statistic* sebesar 3,992 dengan nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0,088 sehingga hasil tersebut lebih besar dari taraf signifikansi 0,05, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa variasi serbuk cangkang telur ayam dan butiran batu bata tidak memberikan dampak signifikan secara statistik terhadap kuat tekan roster beton. Dengan demikian, tidak adanya perbedaan rata-rata nilai kekuatan tekan pada roster beton yang signifikan secara statistik pada seluruh variasi substitusi parsial serbuk cangkang telur ayam dan butiran batu bata.

3. Analisis Regresi Linear Berganda

Analisis regresi linear berganda dilakukan guna memodelkan secara matematis serta memprediksi seberapa besar dampak variabel independen, yaitu persentase substitusi limbah cangkang telur ayam (X_1) dan limbah butiran batu

bata (X_2), terhadap variabel dependen yaitu nilai kuat tekan roster beton (Y). Model persamaan regresi linear berganda yang diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

Keterangan:

Y = Kuat Tekan Roster Beton (MPa)

a = Konstanta

b_1 = Koefisien regresi variabel limbah cangkang telur ayam

b_2 = Koefisien regresi variabel limbah batu bata

X_1 = Persentase Substitusi Limbah Cangkang Telur Ayam (%)

X_2 = Persentase Substitusi Limbah Butiran batu bata (%)

a. Uji Kelayakan Model Secara Simultan (Uji F)

Uji F merupakan salah satu pengujian dalam analisa regresi dengan tujuan untuk mengevaluasi kelayakan model regresi secara keseluruhan. Selain itu, untuk mengetahui variabel independen secara simultan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen. Pada pengkajian ini, uji F digunakan untuk mengetahui persentase substitusi parsial serbuk cangkang telur ayam dan butiran batu bata secara bersama dalam kekuatan tekan roster beton. Pengambilan pada pengujian ini terdapat adanya kriteria, sebagai berikut:

- Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka model regresi signifikan.
- Jika $F_{hitung} \leq F_{tabel}$, maka model regresi tidak signifikan.
- Jika nilai Sig < 0,05, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.
- Jika nilai Sig > 0,05, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.

Berikut **Tabel 4.20** menyajikan hasil pengujian kelayakan secara stimultan (Uji F).

Tabel 4. 20 Uji F (Simultan)

ANOVA ^a						
	Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	<i>Regression</i>	1.427	2	.713	6.512	.012 ^b
	<i>Residual</i>	1.314	12	.110		

	Total	2.741	14			
a. <i>Dependent Variable:</i> KUAT TEKAN						
b. <i>Predictors:</i> (Constant), BATU BATA, CANGKANG TELUR AYAM						

Berdasarkan **Tabel 4.20**, didapatkan hasil Sig sebesar 0,012 sehingga nilai tersebut lebih kecil dari taraf signifikansi sebesar 0,05. Selanjutnya dibandingkan dengan nilai F_{hitung} dan F_{tabel} . Dari hasil uji simultan di atas, diperoleh nilai F_{hitung} 6,512 sedangkan nilai F_{tabel} dapat dihitung dengan menggunakan rumus dan dapat dilihat di tabel F (lampiran), maka didapatkan hasil sebesar 3,478. Sehingga $F_{hitung} = 6,512 > F_{tabel} = 3,478$ maka model regresi signifikan (H_0 ditolak) dan nilai Sig = 0,012 < 0,05 maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.

b. Analisis Koefisien Regresi Dan Pengaruh Parsial (Uji t)

Analisis koefisien regresi dan pengaruh parsial dilakukan untuk mengetahui sejauh mana variabel independen, yaitu cangkang telur ayam dan batu bata, secara individual memengaruhi variabel dependen (Kuat Tekan). Berikut **Tabel 4.21** menyajikan hasil olah data SPSS.

Tabel 4. 21 Koefisien Persamaan Regresi

<i>Coefficients^a</i>						
Model		<i>Unstandardized Coefficients</i>		<i>Standardized Coefficients</i>	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.988	.190		10.479	.000
	CANGKANG TELUR AYAM	-.204	.076	-1.623	-2.690	.020
	BATU BATA	.076	.044	1.050	1.741	.107
a. <i>Dependent Variable:</i> KUAT TEKAN						

Berdasarkan **Tabel 4.21**, diperoleh persamaan regresi linear berganda sebagai berikut:

$$Y = 1,988 - 0,204(X_1) + 0,076(X_2)$$

Keterangan :

Y = Kuat Tekan Roster Beton (MPa)

X_1 = Persentase Substitusi Limbah Cangkang Telur Ayam (%)

X_2 = Persentase Substitusi Limbah Butiran batu bata (%)

Dari hasil persamaan regresi linear dapat dilihat nilai koefisien dari serbuk cangkang telur ayam sebesar $-0,204$ artinya semakin banyak penambahan serbuk cangkang telur ayam maka kuat tekan roster akan semakin menurun. Sedangkan pada koefien dari butiran batu bata sebesar $+0,076$ artinya semakin banyak penambahan butiran batu bata maka kuat tekan roster akan naik walaupun peningkatannya kurang signifikan.

c. Analisis Koefisien Determinasi (*R Square*)

Koefisien determinasi (*R Square*) digunakan sebagai ukuran untuk mengetahui proporsi variasi pada variabel dependen yang dapat dijelaskan oleh variabel independen (Batu-bata dan cangkang telur ayam) dalam model penelitian dalam menjelaskan atau mengontribusikan variasi pada variabel dependen (Kuat tekan). Berdasarkan hasil pengolahan data SPSS yang disajikan pada **Tabel 4.22**.

Tabel 4. 22 Koefisien Determinasi (*R Square*)

Model Summary				
Model	R	<i>R Square</i>	<i>Adjusted R Square</i>	<i>Std. Error of the Estimate</i>
1	.721 ^a	.520	.441	.33096
a. Predictors: (Constant), BATU BATA, CANGKANG TELUR AYAM				

Berdasarkan **Tabel 4.22**, didapatkan hasil koefisien determinasi (*R Square*) sebesar 0,520. Nilai ini menunjukkan bahwa hubungan atau kontribusi dari variabel independen (Batu-bata dan cangkang telur ayam) terhadap perubahan nilai variabel dependen (Kuat tekan) adalah sebesar 52%. Sementara itu, sisanya sebesar 48% dipengaruhi oleh variabel-variabel lain di luar lingkup penelitian ini yang tidak ikut dikaji seperti

faktor air semen (FAS), proses pembuatan maupun curing, jenis/merk material yang digunakan, dan lain sebagainya.

4.3 Rekapitulasi Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah diperoleh bisa dijabarkan lewat ringkasan tabulasi hasil pengujian agar memudahkan memahami hasil penelitian ini. Berikut ringkasan hasil pengujian yang sudah dirincikan pada **Tabel 4.23**.

Tabel 4. 23 Rekapitulasi Hasil Penelitian

Jenis Pengujian	Variasi Sampel				
	R1	R2	R3	R4	R5
Kuat tekan (MPa)	2,00	2,13	1,93	1,67	1,25
Penyerapan Air (%)	7,05	8,55	9,84	10,96	11,41
Berat Isi (kg/m ³)	2052	1949	1748	1710	1689
Biaya Produksi (Rp)	5.531	4.828	4.541	4.389	3.824

Sumber: Analisa Hasil Pengujian Penulis, 2026

Berdasarkan data rekapitulasi hasil penelitian pada **Tabel 4.23**, terlihat adanya hubungan yang berbanding terbalik antara kualitas mekanis material dan nilai ekonomis produksi di setiap variasi sampel. Pada pengujian kuat tekan, sampel R2 berhasil mencapai titik nilai tertinggi sebesar 2,13 MPa, namun setelahnya mengalami tren penurunan yang signifikan hingga mencapai nilai terendah pada sampel R5 1,25 MPa. Penurunan kuat tekan ini sejalan dengan peningkatan persentase Penyerapan Air, di mana nilai penyerapan terendah dimiliki oleh R1 7,05% dan terus melonjak hingga yang tertinggi pada R5 11,41%. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi kemampuan penyerapan air suatu sampel, maka kepadatan materialnya cenderung menurun sehingga berakibat pada melemahnya nilai kuat tekan. Pada analisa berat isi, nilai tertinggi pada variasi R1 sebesar 2052 kg/m³ dan nilai terendah pada R5 sebesar 1689 kg/m³ disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan batu bata menurunkan berat isi dari roster sekitar 20%. Di sisi lain, jika ditinjau dari aspek Biaya Produksi, sampel R1 membutuhkan biaya paling

tinggi sebesar Rp 5.531, sedangkan sampel R5 menjadi variasi dengan biaya paling ekonomis yakni sebesar Rp 3.824.

Dengan mempertimbangkan keempat parameter tersebut secara komprehensif, variasi R2 ditentukan sebagai variasi paling optimal dalam penelitian ini. Nilai kuat tekan maksimum yang dihasilkan 2,13 MPa dengan tingkat penyerapan air yang masih relatif terkendali 8,55% serta berat isi yang lebih ringan dibanding roster kontrol. Selain memiliki mutu fisik terbaik, variasi R2 juga sudah mampu memberikan efisiensi biaya sebesar 12,7% jika dibandingkan dengan biaya produksi roster kontrol R1.

Pada analisa statistik menggunakan IBM SPSS Statistics juga dapat dilihat nilai koefisien pada masing-masing material tambah nilainya berbeda, dengan koefisien pada X1 yang mewakili serbuk cangkang telur ayam sebesar -0,204 (Negatif) sedangkan pada X2 yang mewakili butiran batu bata sebesar +0,076 (Positif). Dari hasil koefisien tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin banyaknya penambahan serbuk cangkang telur ayam sebagai bahan substitusi parsial semen pada campuran roster beton, maka nilai kuat tekan nya akan semakin menurun. Selain itu juga dapat disimpulkan bahwa semakin banyaknya penambahan butiran batu bata sebagai substitusi parsial agregat halus pada campuran roster beton maka nilai kuat tekannya akan semakin meningkat walaupun kurang signifikan.