

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan hasil pemeriksaan yang dilakukan pada material yakni semen, agregat halus, serbuk cangkang telur, dan serbuk kaca. Bab ini juga akan menguraikan hasil pengujian benda uji yang terdiri atas uji kuat tekan, uji daya serap air, dan uji redaman panas.

4.1 Hasil Pengujian Material

Pengujian material penyusun batako harus dilakukan agar dapat mengetahui kelayakan material sebagai campuran dalam pembuatan batako. Material penyusun batako yang pertama kali diuji yakni agregat halus (pasir) dengan pengujian yang meliputi pengujian gradasi, berat jenis, dan kadar air. Selanjutnya, material yang diuji adalah material substitusi (serbuk cangkang telur dan serbuk kaca) yang terdiri atas analisis saringan dan pengujian berat jenis. Pengujian terhadap semen dan air dilakukan melalui pengamatan visual yakni dengan memeriksa keadaan dari kedua material tersebut. Pengujian material penyusun batako dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur.

4.1.1 Pengujian Agregat Halus (Pasir)

Pengujian agregat halus bertujuan untuk mengidentifikasi jenis pasir yang akan digunakan dalam penelitian ini untuk memproduksi batako. Uji karakteristik pasir harus dilakukan karena pasir berperan penting dalam menentukan kualitas batako. Berat jenis pasir, kadar air, dan gradasi adalah beberapa uji yang perlu dilakukan.

1. Analisis Saringan

Ukuran partikel pasir ditentukan dalam uji gradasi pasir menggunakan saringan yang terdiri dari beberapa ukuran. Tujuan analisis ini adalah untuk

menentukan persentase partikel pasir untuk setiap ukuran partikel. Hasilnya disajikan dalam tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Analisis Saringan Agregat Halus

Nomor Saringan	Diameter Saringan (mm)	Berat Tertahan di Saringan (gr)	Persentase		
			Berat tertahan di saringan	Kumulatif yang tertahan di saringan	yang lolos saringan
3/8"	9,5	21,1	2,11%	2,11%	97,89%
4	4,75	33,8	3,38%	5,49%	94,51%
8	2,36	47,3	4,73%	10,22%	89,78%
16	1,18	93,2	9,32%	19,54%	80,46%
30	0,6	282,7	28,27%	47,81%	52,19%
50	0,3	228,1	22,81%	70,62%	29,38%
100	0,15	116	11,6%	82,22%	17,78%
200	0,075	142,2	14,22%	96,44%	3,56%
PAN		31,5	3,15%	99,59%	0,41%
Berat Total Pasir		995,59	99,59%		

Dari tabel 4.1, ayakan Ø4 mm hingga ke atas memiliki persentase berat kumulatif sebesar 5,49% dimana sudah sesuai dengan syarat PBI 1971, Bab 3, Pasal 3.3, dengan minimum 2% dari berat. Ayakan Ø1 mm hingga ke atas memiliki persentase berat kumulatif sebesar 19,54% dimana sudah sesuai dengan syarat PBI 1971, Bab 3, Pasal 3.3, dengan minimum 10% dari berat. Ayakan Ø0,25 mm ke atas memiliki persentase berat kumulatif sebesar 70,62% dimana belum sesuai dengan syarat PBI 1971, Bab 3, Pasal 3.3, dengan minimum 80-95% dari berat. Hal ini dipengaruhi oleh persentase kehilangan agregat pada setiap saringan, terutama pada saringan di atas Ø0,25 mm. Selain itu, dari perhitungan persentase kehilangan berat didapati 0,41%, dimana sesuai persyaratan dalam PBI 1971, BAB 3, Pasal 3.3, jumlah persentase maksimal kehilangan berat yaitu 2%, maka dari data tersebut dapat disimpulkan telah memenuhi syarat.

2. Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air pada agregat halus dilakukan agar mengetahui seberapa besar air yang terkandung dalam pasir sehingga bisa menentukan porsi/takaran yang pas terhadap bahan lain seperti semen dan air. Melalui hasil pengujian kadar air pada pasir, maka dapat mengurangi penggunaan bahan lain secara berlebihan dan dapat mempertahankan kualitas dari batako yang akan dibuat. Hasil pengujian kadar air diuraikan dalam tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Keterangan	Satuan	Hasil Uji	
		1	2
Berat Pasir SSD	gr	500	500
Berat Pasir Setelah di Oven	gr	490,3	494,1
Absorpsi Agregat Halus	%	1,98%	1,19%

Dari tabel 4.2, nilai rata-rata kadar air agregat halus dari dua kali pengujian yaitu sebesar 1,585%. Agregat halus tersebut memenuhi standar ASTM C 128-93, di mana kadar air/absorpsi agregat halus maksimal 2%.

3. Pengujian Berat Jenis

Dalam penentuan kebutuhan pasir yang akan digunakan, dilakukan pengujian berat jenis agar takaran pasir yang dipakai tepat dan efisien. Angka dari berat jenis pasir juga dapat mempengaruhi kebutuhan dari bahan material lain seperti semen dan air. Hasil pengujian berat jenis agregat halus dijelaskan dalam tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Keterangan	Satuan	Hasil	
		1	2
Berat Pasir SSD	gr	500	500
Berat benda uji kering oven (A)	gr	490,3	494,1
Berat Piknometer + Air (B)	gr	672,2	672,3
Berat Piknometer + Air + Pasir (C)	gr	976,1	974,6
Berat Jenis Pasir $= \frac{A}{500+B-C}$	gr/cm ³	2,5	2,5

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan berat jenis agregat halus, didapatkan berat jenis pasir sebesar 2,5 gr/cm³ yang memenuhi standar SNI 1970:2008 yaitu nilai berat jenis agregat halus berkisar antara interval 1,6 gr/cm³ – 3,3 gr/cm³ . Agregat digolongkan sebagai agregat normal karena memiliki berat jenis antara 2,5 – 2,7 gr/cm³.

4.1.2 Pengujian Bahan Material Substitusi

Bahan material substitusi dalam pembuatan benda uji yakni serbuk cangkang telur dan serbuk kaca memiliki pengujian yang sama yaitu analisis saringan dan pengujian berat jenis. Analisis saringan dilakukan dalam pemilihan bahan material substitusi yang akan digunakan. Serbuk cangkang telur yang digunakan adalah serbuk yang lolos saringan nomor 200 dan serbuk kaca yang digunakan adalah serbuk yang lolos saringan ukuran 4,75 mm. Sedangkan pengujian berat jenis dilakukan untuk menentukan kebutuhan setiap bahan material substitusi yang akan

digunakan. Angka dari berat jenis bahan material substitusi akan mempengaruhi berat bahan material substitusi itu sendiri sesuai persentase penggunaannya terhadap semen dan pasir. Berikut hasil pengujian berat jenis pada serbuk cangkang telur dan serbuk kaca.

1. Pengujian Berat Jenis Serbuk Cangkang Telur

Hasil pengujian berat jenis serbuk cangkang telur dijelaskan dalam tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Berat Jenis Serbuk Cangkang Telur

No.	No. Piknometer	Simbol/Rumus	Satuan	Hasil	
				1	2
1.	Berat Piknometer Kosong	W1	gr	37	33,8
2.	Berat Piknometer + Aquades	W2	gr	137,1	133,8
3.	Suhu Piknometer + Aquades	t1	°C	33,5	33
4.	Koreksi suhu Piknometer + Aquades	T1	°C	1,00530	1,00515
5.	Harga Air Piknometer	$WT=(W2-W1)*T1$	gr	100,631	100,515
6.	Berat Piknometer + SCT	W3	gr	72,4	68,8
7.	Berat piknometer + SCT + Aquades	W4	gr	157	152,8
8.	Suhu Piknometer + Aquades + SCT	t2	°C	32,5	33
9.	Koreksi suhu Piknometer + Aquades + SCT	T2	°C	1,00500	1,00515
10.	Berat Jenis	$G_s = \frac{W_3 - W_1}{WT - (W_4 - W_3)T_2}$	gr/cm ³	2,27	2,18
11.	Berat Jenis Rata-Rata	$G_s = (G_{s1} + G_{s2}) : 2$	gr/cm ³	2,22	

Berdasarkan hasil uji, didapatkan berat jenis serbuk cangkang telur yakni sebesar 2,22 gr/cm³.

2. Pengujian Serbuk Kaca

Hasil pengujian berat jenis serbuk kaca dijelaskan dalam tabel 4.5 di bawah ini.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Berat Jenis Serbuk Kaca

No.	No. Piknometer	Simbol/Rumus	Satuan	Hasil	
				1	2
1.	Berat Piknometer Kosong	W1	gr	39,6	34
2.	Berat Piknometer + Aquades	W2	gr	138,8	134
3.	Suhu Piknometer + Aquades	t1	°C	31	31
4.	Koreksi suhu Piknometer + Aquades	T1	°C	1,00456	1,00456
5.	Harga Air Piknometer	$WT=(W2-W1)*T1$	gr	99,652	100,456
6.	Berat Piknometer + SKA	W3	gr	74,5	69
7.	Berat piknometer + SKA + Aquades	W4	gr	159,7	156,3
8.	Suhu Piknometer + Aquades + SKA	t2	°C	31,5	31,5
9.	Koreksi suhu Piknometer + Aquades + SKA	T2	°C	1,00470	1,00470
10.	Berat Jenis	$G_s = \frac{W_3 - W_1}{WT - (W_4 - W_3)T_2}$	gr/cm ³	2,48	2,75
11.	Berat Jenis Rata-Rata	$G_s = (G_{s1} + G_{s2}) : 2$	gr/cm ³	2,61	

Berdasarkan hasil uji, didapatkan berat jenis serbuk kaca yakni sebesar 2,61 gr/cm³.

4.1.3 Pengujian Semen

Pengujian semen dilakukan dengan pengecekan secara visual terhadap kondisi semen. Semen yang dipakai harus tertutup rapat dengan keadaan visual yang layak dan tidak bergumpal. Dari hasil pengamatan yang dilakukan terhadap semen, kondisi semen sudah sesuai dengan syarat penelitian ini, yaitu kemasan yang tertutup, warna semen normal, dan tidak terdapat gumpalan semen. Untuk itu, semen layak untuk dipakai dalam pembuatan benda uji (batako).



Gambar 4. 1 Kondisi Visual Semen yang Digunakan

4.2 Perhitungan *Job Mix Design*

Dari pengujian material penyusun batako dan persentase komposisi material setiap varian yang telah ditentukan, maka dilakukan perhitungan *job mix design* untuk menentukan berat setiap material yang akan digunakan dalam membuat setiap varian batako. Persentase komposisi material setiap varian yang sebelumnya sudah diuraikan pada tabel 4.5.

Tabel 4. 6 Persentase Komposisi Material setiap Varian

Varian	Semen Portland (%)	Cangkang Telur (%)	Agregat Halus (%)	Serbuk Kaca (%)
1	100	0%	100	0
2	95	5%	97,5	2,5
3	95	5%	95,0	5,0
4	95	5%	92,5	7,5
5	95	5%	90,0	10,0

Dari tabel 4.6, *job mix design* kemudian dapat dihitung dengan rumus yang sudah ditentukan. Berat jenis material yang dibutuhkan dalam rumus yang digunakan didapat dari hasil pengujian material. Berat material yang digunakan setiap varian dihitung melalui rumus berikut:

1. Varian 1

- Semen

$$\text{Berat Semen} = \frac{1}{6} \cdot 6669 \cdot 3,15 \cdot 100\%$$

$$\text{Berat Semen} = 3501,2 \text{ gr}$$

- Pasir

$$\text{Berat Pasir} = \frac{5}{6} \cdot 6669 \cdot 2,5 \cdot 100\%$$

$$\text{Berat Pasir} = 13893,8 \text{ gr}$$

- Air

$$\text{Berat Air} = 0,5 \cdot 3501,2$$

$$\text{Berat Air} = 1750,6 \text{ gr}$$

2. Varian 2

- Semen

$$\text{Berat Semen} = \frac{1}{6} \cdot 6669 \cdot 3,15 \cdot 95\%$$

$$\text{Berat Semen} = 3326,2 \text{ gr}$$

- Serbuk Cangkang Telur

$$\text{Berat Serbuk Cangkang Telur} = \frac{1}{6} \cdot 6669 \cdot 2,22 \cdot 5\%$$

$$\text{Berat Serbuk Cangkang Telur} = 123,4 \text{ gr}$$

- Pasir

$$\text{Berat Pasir} = \frac{5}{6} \cdot 6669 \cdot 2,5 \cdot 97,5\%$$

$$\text{Berat Pasir} = 13546,4 \text{ gr}$$

- Serbuk Kaca

$$\text{Berat Serbuk Kaca} = \frac{5}{6} \cdot 6669 \cdot 2,61 \cdot 2,5\%$$

$$\text{Berat Serbuk Kaca} = 362,6 \text{ gr}$$

- Air

$$\text{Berat Air} = 0,5 \cdot 3326,2$$

$$\text{Berat Air} = 1663,1 \text{ gr}$$

3. Varian 3

- Semen

$$\text{Berat Semen} = \frac{1}{6} \cdot 6669 \cdot 3,15 \cdot 95\%$$

$$\text{Berat Semen} = 3326,2 \text{ gr}$$

- Serbuk Cangkang Telur

$$\text{Berat Serbuk Cangkang Telur} = \frac{1}{6} \cdot 6669 \cdot 2,22 \cdot 5\%$$

$$\text{Berat Serbuk Cangkang Telur} = 123,4 \text{ gr}$$

- Pasir

$$\text{Berat Pasir} = \frac{5}{6} \cdot 6669 \cdot 2,5 \cdot 95\%$$

$$\text{Berat Pasir} = 13199,1 \text{ gr}$$

- Serbuk Kaca

$$\text{Berat Serbuk Kaca} = \frac{5}{6} \cdot 6669 \cdot 2,61 \cdot 5\%$$

$$\text{Berat Serbuk Kaca} = 725,3 \text{ gr}$$

- Air

$$\text{Berat Air} = 0,5 \cdot 3326,2$$

$$\text{Berat Air} = 1663,1 \text{ gr}$$

4. Varian 4

- Semen

$$\text{Berat Semen} = \frac{1}{6} \cdot 6669 \cdot 3,15 \cdot 95\%$$

$$\text{Berat Semen} = 3326,2 \text{ gr}$$

- Serbuk Cangkang Telur

$$\text{Berat Serbuk Cangkang Telur} = \frac{1}{6} \cdot 6669 \cdot 2,22 \cdot 5\%$$

$$\text{Berat Serbuk Cangkang Telur} = 123,4 \text{ gr}$$

- Pasir

$$\text{Berat Pasir} = \frac{5}{6} \cdot 6669 \cdot 2,5 \cdot 92,5\%$$

$$\text{Berat Pasir} = 12851,7 \text{ gr}$$

- Serbuk Kaca

$$\text{Berat Serbuk Kaca} = \frac{5}{6} \cdot 6669 \cdot 2,61 \cdot 7,5\%$$

$$\text{Berat Serbuk Kaca} = 1087,9 \text{ gr}$$

- Air

$$\text{Berat Air} = 0,5 \cdot 3326,2$$

$$\text{Berat Air} = 1663,1 \text{ gr}$$

5. Varian 5

- Semen

$$\text{Berat Semen} = \frac{1}{6} \cdot 6669 \cdot 3,15 \cdot 95\%$$

$$\text{Berat Semen} = 3326,2 \text{ gr}$$

- Serbuk Cangkang Telur

$$\text{Berat Serbuk Cangkang Telur} = \frac{1}{6} \cdot 6669 \cdot 2,22 \cdot 5\%$$

$$\text{Berat Serbuk Cangkang Telur} = 123,4 \text{ gr}$$

- Pasir

$$\text{Berat Pasir} = \frac{5}{6} \cdot 6669 \cdot 2,5 \cdot 90\%$$

$$\text{Berat Pasir} = 12504,4 \text{ gr}$$

- Serbuk Kaca

$$\text{Berat Serbuk Kaca} = \frac{5}{6} \cdot 6669 \cdot 2,61 \cdot 10\%$$

$$\text{Berat Serbuk Kaca} = 1450,5 \text{ gr}$$

- Air

$$\text{Berat Air} = 0,5 \cdot 3326,2$$

$$\text{Berat Air} = 1663,1 \text{ gr}$$

Dari perhitungan di atas, *job mix design* diuraikan dalam tabel 4.7

Tabel 4. 7 *Job Mix Design*

Varian	Semen (gr)	Serbuk Cangkang Telur (gr)	Pasir (gr)	Serbuk Kaca (gr)	Air (gr)	Jumlah Benda Uji
Varian 1	3501,2	0,0	13893,8	0,0	1750,6	5
Varian 2	3326,2	123,4	13546,4	362,6	1663,1	5
Varian 3	3326,2	123,4	13199,1	725,3	1663,1	5
Varian 4	3326,2	123,4	12851,7	1087,9	1663,1	5
Varian 5	3326,2	123,4	12504,4	1450,5	1663,1	5

4.3 Hasil Pengujian Benda Uji

4.3.1 Uji Kuat Tekan

Benda uji dibiarkan mengeras selama 28 hari sebelum pengujian kekuatan tekan dilakukan. Untuk setiap varian berdasarkan persentase masing-masing bahan yang digunakan dalam produksi batako, 5 sampel digunakan untuk pengujian kuat tekan. Di bawah ini merupakan hasil pengujian kuat tekan batako.

A. Varian 1

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Batako Varian 1

Varian 1 (Serbuk Cangkang Telur 0% ; Serbuk Kaca 0%)				
Sampel Benda Uji	Beban Tekan (kN)	Luas Bidang Tekan	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Konversi (MPa)

		(cm ²)		
1	18300	198	92,42	9,24
2	22500	198	113,64	11,36
3	19100	198	96,46	9,65
4	23500	198	118,69	11,87
5	17600	198	88,89	8,89
Rata-rata			102,02	10,20

Karena batako varian 1 memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 102,02 kg/cm², maka batako tersebut merupakan batako dengan tingkat mutu I berdasarkan SNI 03-0349-1989.

B. Varian 2

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Kuat Tekan Batako Varian 2

Varian 2 (Serbuk Cangkang Telur 5% ; Serbuk Kaca 2,5%)				
Sampel Benda Uji	Beban Tekan (kN)	Luas Bidang Tekan (cm ²)	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Konversi (MPa)
1	18800	198	94,95	9,50
2	13600	198	68,69	6,87
3	13300	198	67,17	6,72
4	16600	198	83,84	8,38
5	13500	198	68,18	6,82
Rata-rata			76,57	7,66

Karena batako varian 2 memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 76,57 kg/cm², maka batako tersebut merupakan batako dengan tingkat mutu II berdasarkan SNI 03-0349-1989.

C. Varian 3

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Kuat Tekan Batako Varian 3

Varian 3 (Serbuk Cangkang Telur 5% ; Serbuk Kaca 5%)				
Sampel Benda Uji	Beban Tekan (kN)	Luas Bidang Tekan	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Konversi (MPa)

		(cm ²)		
1	20100	198	101,52	10,15
2	21600	198	109,09	10,91
3	22300	198	112,63	11,26
4	22800	198	115,15	11,52
5	17800	198	89,90	8,99
Rata-rata			105,66	10,56

Karena batako varian 3 memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 105,66 kg/cm², maka batako tersebut merupakan batako dengan tingkat mutu I berdasarkan SNI 03-0349-1989.

D. Varian 4

Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Kuat Tekan Batako Varian 4

Varian 4 (Serbuk Cangkang Telur 5% ; Serbuk Kaca 7,5%)				
Sampel Benda Uji	Beban Tekan (kN)	Luas Bidang Tekan (cm ²)	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Konversi (MPa)
1	21900	198	110,61	11,06
2	20400	198	103,03	10,30
3	20800	198	105,05	10,51
4	21500	198	108,59	10,86
5	25100	198	126,77	12,68
Rata-rata			110,81	11,08

Karena batako varian 4 memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 110,81 kg/cm², maka batako tersebut merupakan batako dengan tingkat mutu I berdasarkan SNI 03-0349-1989.

E. Varian 5

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Batako Varian 5

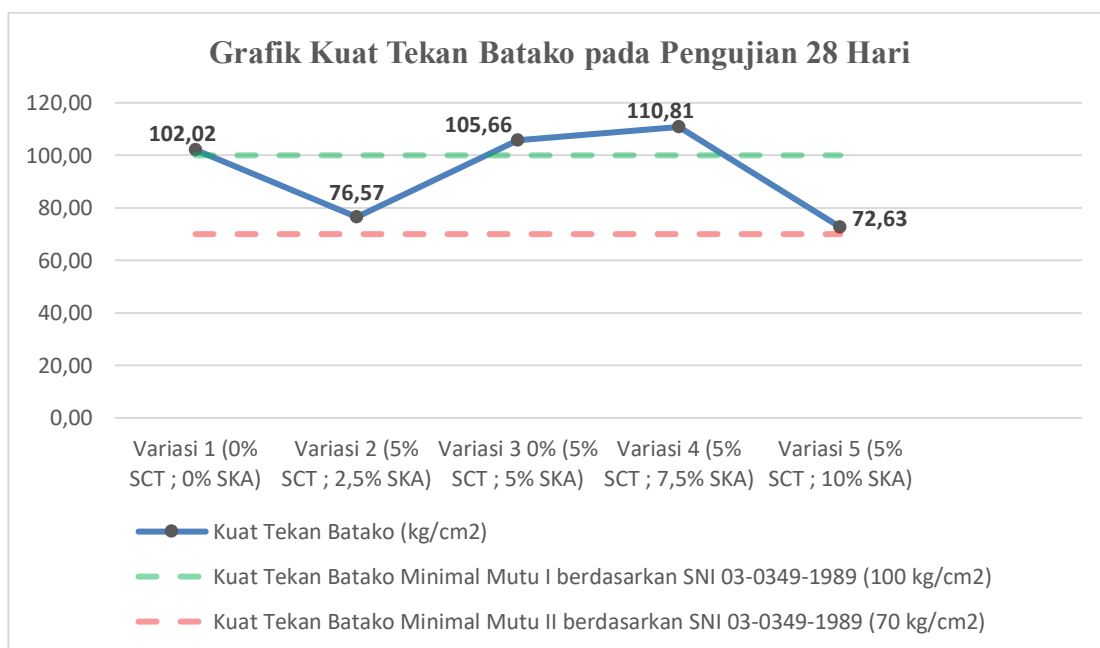
Varian 5 (Serbuk Cangkang Telur 5% ; Serbuk Kaca 10%)				
Sampel Benda Uji	Beban Tekan (kN)	Luas Bidang Tekan (cm ²)	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Konversi (MPa)

1	22900	198	64,14	6,41
2	23200	198	80,81	8,08
3	21300	198	68,18	6,82
4	24600	198	65,66	6,57
5	23100	198	84,34	8,43
Rata-rata			72,63	7,26

Karena batako varian 5 memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 72,63 kg/cm², maka batako tersebut merupakan batako dengan tingkat mutu II berdasarkan SNI 03-0349-1989.

Tabel 4. 13 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Batako

Varian	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Mutu Batako berdasarkan SNI 03-0349-1989
1	102,02	Mutu I
2	76,57	Mutu II
3	105,66	Mutu I
4	110,81	Mutu I
5	72,63	Mutu II



Gambar 4. 2 Grafik Nilai Kuat Tekan Batako

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 di atas, batako varian 5 (5% serbuk cangkang telur dan 10% serbuk kaca) memiliki nilai kuat tekan rata-rata terendah dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar $72,63 \text{ kg/cm}^2$. Hal ini mungkin terjadi karena pengaruh bahan substitusi yang melewati batas. Kuat tekan batako varian 5 menurun bisa saja terjadi karena serbuk kaca yang sudah terlalu berlebih sehingga kinerja bahan pengikat menjadi tidak stabil. Sementara, batako dengan nilai kuat tekan rata-rata tertinggi dimiliki oleh batako varian 4 (5% serbuk cangkang telur dan 7,5% serbuk kaca) dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar $110,81 \text{ kg/cm}^2$. Pada pengujian kuat tekan batako ini, seluruh sampel varian sudah memenuhi SNI 03-0349-1989 sesuai mutu masing-masing. Berdasarkan SNI 03-0349-1989, dalam pengujian ini batako yang termasuk dalam mutu I yakni batako varian 1 (0% serbuk cangkang telur dan 0% serbuk kaca), batako varian 3 (5% serbuk cangkang telur dan 5% serbuk kaca), serta batako varian 4 (5% serbuk cangkang telur dan 7,5% serbuk kaca). Sedangkan batako varian 2 (5% serbuk cangkang telur dan 2,5% serbuk kaca) dan batako varian 5 (5% serbuk cangkang telur dan 10% serbuk kaca) termasuk dalam mutu II. Adanya penurunan pada varian 2 mungkin terjadi dikarenakan intensitas pengadukan adonan batako. Variasi waktu atau intensitas pengadukan yang kurang tepat dapat menyebabkan campuran tidak homogen, yang berdampak negatif pada *workability* dan distribusi partikel semen/agregat sehingga kuat tekan batako menurun (Prihantono, 2007).

Dibandingkan dengan batako konvensional, penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan serbuk cangkang telur dan serbuk kaca dapat meningkatkan kuat tekan batako. Nilai kuat tekan rata-rata batako varian 3 (5% serbuk cangkang telur dan 5% serbuk kaca) dan varian 4 (5% serbuk cangkang telur dan 7,5% serbuk kaca) telah terbukti lebih tinggi daripada batako konvensional (0% serbuk cangkang telur dan 0% serbuk kaca). Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan CaCO_3 dalam cangkang telur dan SiO_2 dalam serbuk kaca dapat digunakan sebagai pengganti kandungan CaO dan SiO_2 dalam semen. Namun, komposisi penambahan serbuk cangkang telur dan serbuk kaca perlu dikendalikan karena penambahan

material tersebut secara berlebihan juga dapat menurunkan kuat tekan batako seperti batako varian 2 dan varian 5.

Hasil uji kuat tekan beton pada penelitian yang dilakukan oleh Ashariyanto dkk. (2022) yang menggunakan serbuk cangkang telur sebagai pengganti sebagian semen dalam pembuatan beton menunjukkan hal yang cenderung sama dengan hasil pengujian kuat tekan batako pada penelitian ini. Hasil uji kuat tekan beton dalam penelitian tersebut menunjukkan bahwa kuat tekan beton konvensional lebih rendah daripada kuat tekan beton yang menggunakan campuran 5% serbuk kaca sebagai pengganti semen. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Maulana Akbar & Arini (2023) menunjukkan bahwa penggunaan serbuk cangkang telur sebagai pengganti sebagian semen pada komposisi 5% dari berat semen memberikan peningkatan kuat tekan beton sebesar 16,74% dari kuat tekan beton konvensional.

4.3.2 Uji Daya Serap Air

5 sampel batako yang berumur 28 hari dengan campuran yang sudah ditentukan pada setiap varian digunakan untuk menguji daya serap air. Berikut adalah hasil pengujian daya serap air batako.

A. Varian 1

Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Daya Serap Air Batako Varian 1

Varian 1 (Serbuk Cangkang Telur 0% ; Serbuk Kaca 0%)			
Sampel Benda Uji	Berat Batako Keadaan Basah	Berat Batako Keadaan Kering	Nilai Daya Serap Air
1	15315	14915	2,68%
2	15125	14695	2,93%
3	15315	14900	2,79%
4	14775	14350	2,96%
5	15475	15070	2,69%
Rata-rata			2,81%

Karena batako varian 1 memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 2,81%, maka batako tersebut merupakan batako dengan tingkat mutu I berdasarkan SNI 03-0349-1989.

B. Varian 2

Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Daya Serap Air Batako Varian 2

Varian 2 (Serbuk Cangkang Telur 5% ; Serbuk Kaca 2,5%)			
Sampel Benda Uji	Berat Batako Keadaan Basah	Berat Batako Keadaan Kering	Nilai Daya Serap Air
1	15125	14745	2,58%
2	15105	14695	2,79%
3	15445	15110	2,22%
4	15435	15065	2,46%
5	15055	14635	2,87%
Rata-rata			2,58%

Karena batako varian 2 memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 2,58%, maka batako tersebut merupakan batako dengan tingkat mutu I berdasarkan SNI 03-0349-1989.

C. Varian 3

Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Daya Serap Air Batako Varian 3

Varian 1 (Serbuk Cangkang Telur 5% ; Serbuk Kaca 5%)			
Sampel Benda Uji	Berat Batako Keadaan Basah	Berat Batako Keadaan Kering	Nilai Daya Serap Air
1	15225	15010	1,43%
2	15055	14645	2,80%
3	15195	14785	2,77%
4	15090	14710	2,58%
5	15205	14880	2,18%
Rata-rata			2,35%

Karena batako varian 3 memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 2,35%, maka batako tersebut merupakan batako dengan tingkat mutu I berdasarkan SNI 03-0349-1989.

D. Varian 4

Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Daya Serap Air Batako Varian 4

Varian 1 (Serbuk Cangkang Telur 5% ; Serbuk Kaca 7,5%)			
Sampel Benda Uji	Berat Batako Keadaan Basah	Berat Batako Keadaan Kering	Nilai Daya Serap Air
1	15255	14890	2,45%
2	15120	14805	2,13%
3	14905	14585	2,19%
4	15000	14790	1,42%
5	15110	14745	2,48%
Rata-rata			2,13

Karena batako varian 4 memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 2,13%, maka batako tersebut merupakan batako dengan tingkat mutu I berdasarkan SNI 03-0349-1989.

E. Varian 5

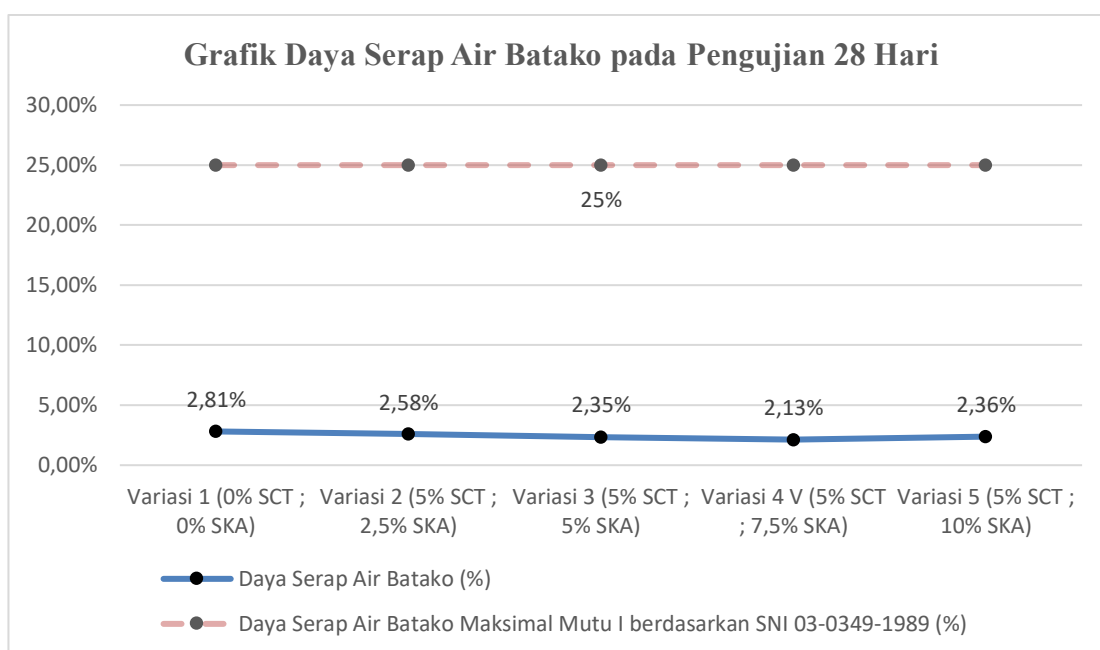
Tabel 4. 18 Hasil Pengujian Daya Serap Air Batako Varian 5

Varian 1 (Serbuk Cangkang Telur 5% ; Serbuk Kaca 10%)			
Sampel Benda Uji	Berat Batako Keadaan Basah	Berat Batako Keadaan Kering	Nilai Daya Serap Air
1	15245	14920	2,18%
2	14990	14520	3,24%
3	15115	14795	2,16%
4	15125	14820	2,06%
5	15095	14775	2,17%
Rata-rata			2,36%

Karena batako varian 5 memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 2,36%, maka batako tersebut merupakan batako dengan tingkat mutu I berdasarkan SNI 03-0349-1989.

Tabel 4. 19 Rekapitulasi Hasil Pengujian Daya Serap Air Batako

Varian	Daya Serap Air	Mutu Batako berdasarkan SNI 03-0349-1989
1	2,81%	Mutu I
2	2,58%	Mutu I
3	2,35%	Mutu I
4	2,13%	Mutu I
5	2,36%	Mutu I



Gambar 4. 3 Grafik Nilai Daya Serap Air Batako

Dari hasil uji penyerapan air batako di atas, terlihat bahwa daya serap air cenderung berkurang seiring dengan bertambahnya jumlah serbuk cangkang telur dan serbuk kaca dalam campuran. Batako varian 4 (5% serbuk cangkang telur dan 7,5% serbuk kaca) memiliki nilai daya serap air terendah yakni 2,13%. Bata normal (0% serbuk cangkang telur dan 0% serbuk kaca) memiliki nilai daya serap air tertinggi yaitu 2,81%. Serbuk kaca memiliki senyawa SiO_2 yang bersifat kedap air.

Akibatnya, nilai daya serap air akan berkurang seiring dengan bertambahnya jumlah serbuk kaca dalam batako. Karena SNI 03-0349-1989 menetapkan bahwa nilai daya serap air rata-rata maksimal untuk batako mutu I adalah 25%, maka semua varian batako dalam uji daya serap air dapat diklasifikasikan sebagai batako mutu I.

Hasil uji daya serap air pada penelitian yang dilakukan oleh Prasetyo Indra Wijaya & Sudjarmiko (2023) menunjukkan hasil yang cenderung sama dengan hasil uji daya serap air pada penelitian ini. Penelitian tersebut menunjukkan adanya penurunan nilai daya serap air beton pada penambahan serbuk kaca sebesar 5% dan 10%. Komposisi tersebut berturut-turut memberikan penurunan sebesar 2,2% dan 13,3% dari batako konvensional. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Adani dkk. (2024) menunjukkan bahwa semakin bertambahnya serbuk kaca yang digunakan sebagai pengganti sebagian pasir maka nilai daya serap air paving block semakin menurun. Dalam penelitian tersebut, penambahan serbuk kaca sebesar 2,5% ; 5% ; 7,5% ; 10% ; dan 12,5% secara berurutan menghasilkan nilai daya serap air paving block sebesar 7,61% ; 7,16% ; 7,12% ; 6,80% ; 6,67%. Penelitian yang dilakukan oleh Rahmat dkk. (2020) juga menunjukkan bahwa nilai daya serap air batako pada penggunaan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian pasir mengalami penurunan dibandingkan dengan batako konvensional. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa persentase komposisi 25% dan 50% serbuk kaca menghasilkan nilai daya serap air secara berurutan yakni 3,9% dan 3,5%. Sedangkan nilai daya serap air batako konvensional sebesar 4,1%. Jika melihat grafik di atas, angka persentase varian 5 tampak kembali mengalami kenaikan, hal ini mungkin terjadi karena pengaruh bahan substitusi yang melewati batas. Angka persentase daya serap air batako varian 5 menaik bisa saja terjadi karena serbuk kaca yang sudah terlalu berlebih sehingga batako lebih mudah menyerap air.

4.3.3 Uji Redaman Panas

Lima buah sampel batako setiap varian yang berumur 28 hari digunakan dalam uji redaman panas ini. Uji ini dilakukan di ruang terbuka yang terkena sinar matahari. Dalam uji ini, digunakan multimeter yang di mana pengujian dimulai pukul 10.00

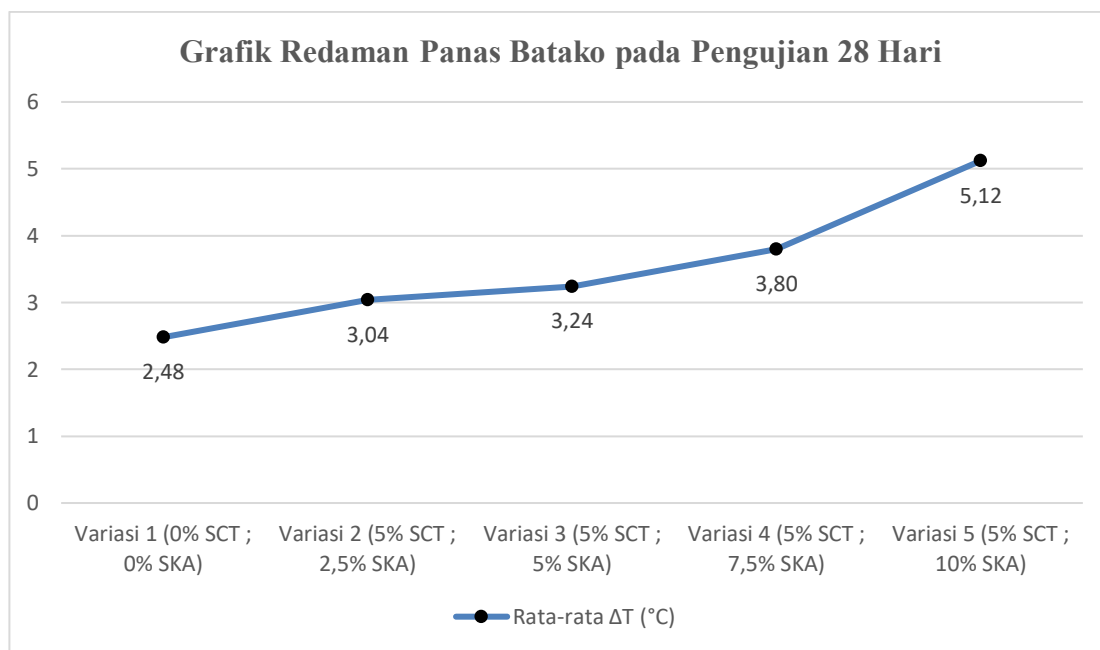
– 12.00 WIB. Batako tersebut dibiarkan terpapar sinar matahari selama dua jam untuk melakukan uji. Setelah itu, pembacaan suhu dilakukan pada pukul 12.00 WIB. Sepuluh titik pada sampel batako digunakan untuk mengukur suhu, lima di antaranya adalah T1 (permukaan atas yang terpapar sinar matahari langsung) dan lima di antaranya adalah T2 (permukaan yang tidak terpapar sinar matahari). Letak setiap titik T1 tepat berada di belakang T2. Hasil pengujian redaman panas diuraikan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4. 20 Hasil Pengujian Redaman Panas Batako

Varian	No. Sampel	T1 (°C)					T2 (°C)					Rata-rata T1 (°C)	Rata-rata T2 (°C)	ΔT (°C)	Rata-rata ΔT (°C)
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E				
Varian 1 (Serbuk Cangkang Telur 0% ; Serbuk Kaca 0%)	1	36	39	37	36	37	34	35	35	35	35	37	34,8	2,2	2,48
	2	36	36	37	36	36	33	34	35	33	34	36,2	33,8	2,4	
	3	35	38	37	37	37	34	36	35	34	35	36,8	34,8	2	
	4	36	37	38	37	38	34	35	35	35	36	37,2	35	2,2	
	5	38	40	40	39	40	36	36	36	35	36	39,4	35,8	3,6	
Varian 2 (Serbuk Cangkang Telur 5% ; Serbuk Kaca 2,5%)	1	40	40	39	40	40	36	37	36	36	35	39,8	36	3,8	3,04
	2	40	38	38	38	39	35	36	37	36	37	38,6	36,2	2,4	
	3	38	40	39	38	39	36	36	36	36	37	38,8	36,2	2,6	
	4	38	40	41	39	40	36	38	37	37	36	39,6	36,8	2,8	
	5	39	38	38	39	39	36	35	35	35	34	38,6	35	3,6	
Varian 3 (Serbuk Cangkang Telur 5% ; Serbuk Kaca 5%)	1	36	36	38	37	36	33	33	35	33	33	36,6	33,4	3,2	3,24
	2	36	39	38	37	37	33	34	34	34	35	37,4	34	3,4	
	3	35	38	38	35	36	33	33	33	34	33	36,4	33,2	3,2	
	4	35	37	38	37	38	33	34	35	34	33	37	33,8	3,2	
	5	35	37	38	36	37	33	33	35	33	33	36,6	33,4	3,2	
Varian 4 (Serbuk Cangkang Telur 5% ; Serbuk Kaca 7,5%)	1	36	37	38	36	38	33	33	33	33	32	37	32,8	4,2	3,8
	2	37	38	38	37	37	32	33	34	33	33	37,4	33	4,4	
	3	36	39	39	39	37	33	35	35	34	34	38	34,2	3,8	
	4	37	38	38	36	38	33	35	34	33	34	37,4	33,8	3,6	
	5	37	39	38	35	37	35	36	34	33	33	37,2	34,2	3	
Varian 5 (Serbuk Cangkang Telur 5% ; Serbuk Kaca 10%)	1	36	36	37	35	36	30	30	31	31	31	36	30,6	5,4	5,12
	2	36	37	38	37	38	32	33	33	33	32	37,2	32,6	4,6	
	3	38	40	39	36	36	31	32	32	31	32	37,8	31,6	6,2	
	4	38	37	38	38	37	32	34	33	32	32	37,6	32,6	5	
	5	36	38	38	36	37	33	32	33	32	33	37	32,6	4,4	

Tabel 4. 21 Rekapitulasi Hasil Pengujian Redaman Panas Batako

Varian	Rata-rata ΔT ($^{\circ}\text{C}$)
1	2,48
2	3,04
3	3,24
4	3,80
5	5,12



Gambar 4. 4 Grafik Nilai Redaman Panas Batako

Semakin besar perbedaan suhu antara kedua sisi batako maka semakin baik kualitas batako dalam meredam panas (Galih Nugraha, 2023). Dari hasil uji redaman panas batako di atas, terlihat bahwa daya redaman panas batako semakin baik seiring dengan bertambahnya jumlah serbuk kaca dalam campuran batako. Hal ini dikarenakan serbuk kaca bersifat isolator yang di mana mampu untuk menghambat laju perpindahan panas pada batako. Dapat dilihat pada Gambar 4.3 di mana batako varian 1 (0% serbuk cangkang telur dan 0% serbuk kaca) memiliki nilai daya redaman panas terendah

dengan nilai rata-rata selisih suhu sebesar 2,48°C. Sedangkan batako dengan daya redaman panas tertinggi yaitu batako varian 5 (5% serbuk cangkang telur dan 10% serbuk kaca) yang memiliki nilai rata-rata selisih suhu sebesar 5,12°C.

Hasil pengujian daya redaman panas batako tersebut sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Nasry dkk., 2021). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa konduktivitas termal beton menurun seiring penambahan serbuk kaca. Artinya, jika konduktivitas termal menurun maka laju perpindahan panas akan menurun sehingga daya redaman panas akan semakin baik.

4.3.4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Benda Uji

Berikut ini merupakan tabel hasil rata-rata setiap pengujian dari semua pengujian yang telah dilakukan terhadap benda uji.

Tabel 4. 22 Rekapitulasi Hasil Pengujian Batako

Varian	Hasil Rata-rata Uji Kuat Tekan (kg/cm ²)	Hasil Rata-rata Uji Daya Serap Air (%)	Hasil Rata-rata Uji Redaman Panas (°C)
1	102,02	2,81	2,48
2	76,57	2,58	3,04
3	105,66	2,35	3,24
4	110,81	2,13	3,80
5	72,63	2,36	5,12

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa pengurangan jumlah serbuk kaca dalam campuran batako cenderung meningkatkan daya serap air rata-rata batako. Namun, nilai daya serap air rata-rata dari semua varian tetap berada dalam batas yang ditetapkan oleh SNI 03-0349-1989. Pengujian pada setiap varian menunjukkan peningkatan nilai

kuat tekan rata-rata pada varian 3 dan varian 4. Namun kuat tekan menurun pada varian 2 dan varian 5. Setiap varian juga masih berada dalam batas yang ditetapkan oleh SNI 03-0349-1989 sesuai mutu masing-masing varian batako. Batako varian 1, varian 3, dan varian 4 diklasifikasikan sebagai mutu I, sedangkan batako varian 2 dan varian 5 diklasifikasikan sebagai mutu II. Dalam pengujian daya redaman panas, kualitas redaman panas batako akan semakin bagus jika meningkatkan penggunaan serbuk kaca.

Batako varian 4 merupakan batako dengan kuat tekan tertinggi yakni 110,81 kg/cm². Batako varian 4 juga merupakan batako yang memiliki daya serap air terendah di antara semua varian. Batako varian 4 memiliki daya serap air sebesar 2,13%. Sedangkan untuk daya redaman panas, batako varian 5 memiliki perbedaan suhu sisi atas dan sisi bawah batako tertinggi yang berarti kualitas redaman panas terbaik dimiliki oleh batako varian 5 dengan perbedaan suhu sebesar 5,12°C. Namun, daya redaman panas batako varian 4 berada di urutan ke dua tertinggi dengan perbedaan suhu sisi atas dan sisi bawah batako sebesar 3,80°C.

Berdasarkan rekapitulasi hasil pengujian batako di atas, dapat disimpulkan bahwa campuran proporsi campuran batako yang paling optimal dimiliki oleh batako varian 4 di mana batako tersebut memiliki keunggulan dalam 2 pengujian, yakni pengujian kuat tekan dan daya serap air. Meskipun batako tersebut bukan menjadi batako yang memiliki daya redaman panas terbaik dari semua variasi batako, setidaknya daya redaman panas batako tersebut berada di urutan ke dua tertinggi dalam pengujian daya redaman panas.

4.4 Analisis Biaya

Berikut ini adalah perhitungan rinci biaya produksi batako. Harga bahan-bahan material yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada Peraturan Wali Kota tentang Standarisasi Harga Satuan Bahan Bangunan, Tenaga Kerja, dan Analisis

Pekerjaan untuk Kegiatan Konstruksi Pemerintah di Kota Semarang, Anggaran 2024, Edisi Kedua. Untuk material substitusi seperti serbuk cangkang telur dan serbuk kaca, penelitian menggunakan bahan cangkang telur dan kaca yang sudah dibeli dalam bentuk serbuk. Dalam analisis biaya produksi batako, biaya kedua material substitusi tersebut menggunakan biaya penggilingan per kilogramnya. Biaya produksi batako baik batako konvensional maupun batako yang menggunakan bahan tambahan material serbuk cangkang telur dan serbuk kaca dihitung sebagai berikut.

Tabel 4. 23 Rincian Harga Material

Harga Semen (Rp/kg)	Harga Pasir (Rp/kg)	Harga Air (Rp/kg)	Harga Penggilingan Kaca (Rp/kg)	Harga Penggilingan Cangkang Telur (Rp/kg)
1.410	246	16	2.500	2.500

A. Varian 1

Batako konvensional tanpa bahan alternatif merupakan nama lain untuk Varian

1. Biaya produksi batako varian 1 dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 1 \quad \text{Semen} &= 3,50 \text{ kg} \\
 &= 3,50 \times 1.410 \\
 &= \text{Rp } 4.935 \\
 2 \quad \text{Pasir} &= 13,90 \text{ kg} \\
 &= 13,90 \times 246 \\
 &= \text{Rp } 3.419,4 \\
 3 \quad \text{Air} &= 1,75 \text{ kg} \\
 &= 1,75 \times 16 \\
 &= \text{Rp } 28 \\
 \text{Total Biaya Produksi} &= \text{Rp } 4.935 + \text{Rp } 3.419,4 + \text{Rp } 28 \\
 &= \text{Rp } 8.382,40
 \end{aligned}$$

B. Varian 2

Varian 2 merupakan batako yang menggunakan serbuk cangkang telur sebagai pengganti sebagian semen dengan persentase 5% terhadap berat semen dan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian pasir dengan persentase 2,5% terhadap berat pasir. Biaya produksi batako varian 2 dihitung sebagai berikut.

1	Semen	= 3,33 kg
		= $3,33 \times 1.410$
		= Rp 4.695,3
2	Pasir	= 13,55 kg
		= $13,55 \times 246$
		= Rp 3.333,3
3	Air	= 1,66 kg
		= $1,66 \times 16$
		= Rp 26,56
4	Serbuk Cangkang Telur	= 0,12 kg
		= $0,12 \times 2.500$
		= Rp 300
5	Serbuk Kaca	= 0,36 kg
		= $0,36 \times 2.500$
		= Rp 900
Total Biaya Produksi		= Rp 4.695,3 + Rp 3.333,3 + Rp 26,56 +
		Rp 300 + Rp 900
		= Rp 9.255,16

C. Varian 3

Varian 3 merupakan batako yang menggunakan serbuk cangkang telur sebagai pengganti sebagian semen dengan persentase 5% terhadap berat semen dan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian pasir dengan persentase 5% terhadap berat pasir. Biaya produksi batako varian 3 dihitung sebagai berikut.

1	Semen	= 3,33 kg
		= $3,33 \times 1.410$
		= Rp 4.695,3
2	Pasir	= 13,2 kg
		= $13,2 \times 246$
		= Rp 3.247,2
3	Air	= 1,66 kg
		= $1,66 \times 16$
		= Rp 26,56
4	Serbuk Cangkang Telur	= 0,12 kg
		= $0,12 \times 2.500$
		= Rp 300
5	Serbuk Kaca	= 0,73 kg
		= $0,73 \times 2.500$
		= Rp 1.825
Total Biaya Produksi		= Rp 4.695,3 + Rp 3.247,2 + Rp 26,56 + Rp 300 + Rp 1.825
		= Rp 10.094,06

D. Varian 4

Varian 4 merupakan batako yang menggunakan serbuk cangkang telur sebagai pengganti sebagian semen dengan persentase 5% terhadap berat semen dan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian pasir dengan persentase 7,5% terhadap berat pasir. Biaya produksi batako varian 4 dihitung sebagai berikut.

1	Semen	= 3,33 kg
		= $3,33 \times 1.410$
		= Rp 4.695,3
2	Pasir	= 12,85 kg
		= $12,85 \times 246$

		= Rp 3.161,1
3	Air	= 1,66 kg
		= 1,66 x 16
		= Rp 26,56
4	Serbuk Cangkang Telur	= 0,12 kg
		= 0,12 x 2.500
		= Rp 300
5	Serbuk Kaca	= 1,09 kg
		= 1,09 x 2.500
		= Rp 2.725
Total Biaya Produksi		= Rp 4.695,3 + Rp 3.161,1 + Rp 26,56 +
		Rp 300 + Rp 2.725
		= Rp 10.907,96

E. Varian 5

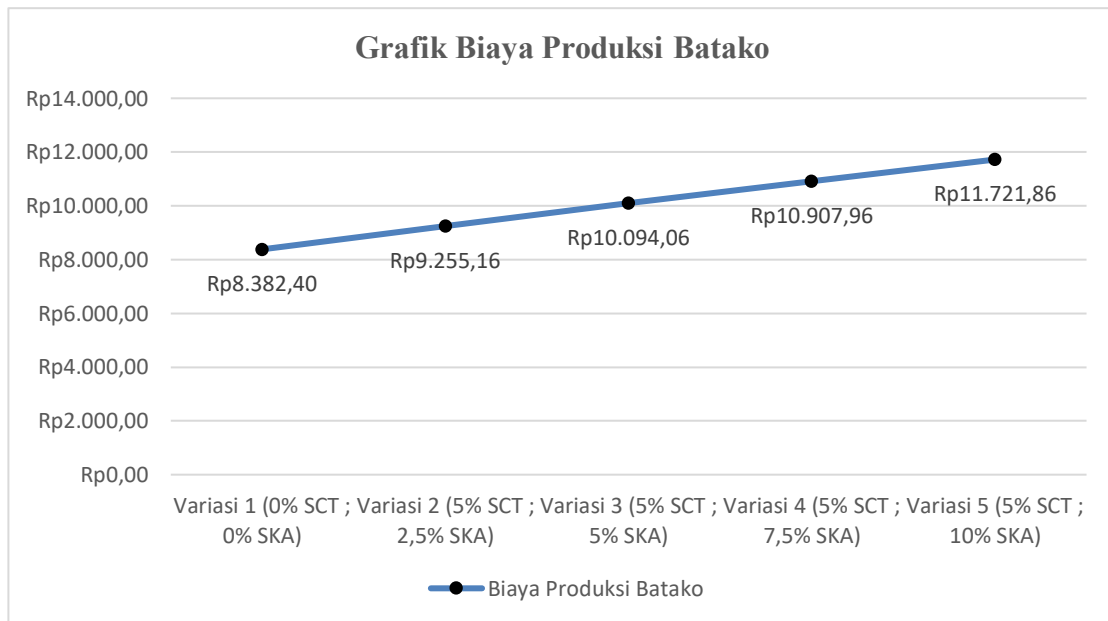
Varian 5 merupakan batako yang menggunakan serbuk cangkang telur sebagai pengganti sebagian semen dengan persentase 5% terhadap berat semen dan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian pasir dengan persentase 10% terhadap berat pasir. Biaya produksi batako varian 5 dihitung sebagai berikut.

1	Semen	= 3,33 kg
		= 3,33 x 1.410
		= Rp 4.695,3
2	Pasir	= 12,5 kg
		= 12,5 x 246
		= Rp 3.075
3	Air	= 1,66 kg
		= 1,66 x 16
		= Rp 26,56
4	Serbuk Cangkang Telur	= 0,12 kg

$$\begin{aligned}
 &= 0,12 \times 2.500 \\
 &= \text{Rp } 300 \\
 5 \quad \text{Serbuk Kaca} &= 1,45 \text{ kg} \\
 &= 1,45 \times 2.500 \\
 &= \text{Rp } 3.625 \\
 \text{Total Biaya Produksi} &= \text{Rp } 4.695,3 + \text{Rp } 3.161,1 + \text{Rp } 26,56 + \\
 &\quad \text{Rp } 300 + \text{Rp } 2.725 \\
 &= \text{Rp } 11.721,86
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 24 Rekapitulasi Biaya Produksi Batako Setiap Varian

Varian	Biaya Produksi
1	Rp8.382,40
2	Rp9.255,16
3	Rp10.094,06
4	Rp10.907,96
5	Rp11.721,86



Gambar 4. 5 Grafik Biaya Produksi Batako

Batako varian 1 memiliki nilai produksi terendah yakni sebesar Rp8.382,40, per batako, sedangkan batako varian 5 memiliki nilai produksi tertinggi dengan nilai produksi per batako sebesar Rp11.721,86. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa biaya produksi batako bertambah seiring dengan peningkatan persentase serbuk cangkang telur dan serbuk kaca. Hal ini disebabkan karena biaya penggilingan serbuk cangkang telur dan serbuk kaca yang cukup mempengaruhi pada biaya produksi batako. Walaupun harga produksinya lebih mahal, namun kualitas yang dimiliki oleh batako inovasi tidak lebih buruk daripada batako konvensional. Dengan selisih harga yang tidak terlalu tinggi, batako inovasi mampu memberikan kualitas yang baik, misalnya batako varian 4 yang menjadi batako dengan kuat tekan tertinggi dan nilai persentase daya serap air terendah daripada semua varian batako.