

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan hasil pengujian dan pembahasan penelitian yang dilakukan. Pengujian meliputi pengujian material yang digunakan dalam pembuatan batako beton pracetak, pembuatan benda uji, dan pengujian kinerja batako beton pracetak, seperti kuat tekan, tingkat penyerapan air, insulasi termal, dan insulasi akustik. Dengan menganalisis hasil pengujian ini dapat menentukan pengaruh cangkang *Anadara granosa* dan *rockwool* terhadap kinerja batako beton pracetak dan mengidentifikasi komposisi campuran yang optimal.

#### **4.1. Analisis Pengujian Bahan Material**

Tahap pertama untuk melakukan penelitian ini adalah dengan melakukan pengujian bahan material penyusun batako beton pracetak sebelum membuat benda uji. Tahap ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisis maupun kimia dari material yang akan dicampur saat membuat batako beton pracetak. Dengan memahami karakteristik setiap material, peneliti mengetahui bahwa formulasi yang digunakan memenuhi standar mutu dan mampu menghasilkan produk akhir yang optimal sesuai spesifikasi yang direncanakan.

##### **4.1.1. Agregat Halus**

Rangkaian pengujian agregat halus dilakukan untuk mengetahui kelayakan dan karakteristik material sebelum digunakan dalam campuran batako. Pengujian ini bertujuan memastikan bahwa pasir memenuhi persyaratan mutu yang telah ditetapkan. Parameter yang diuji meliputi analisis gradasi untuk mengetahui distribusi ukuran butir, kadar lumpur untuk memastikan daya ikat material tetap baik, serta pengujian berat jenis yang digunakan sebagai dasar dalam perhitungan proporsi campuran.

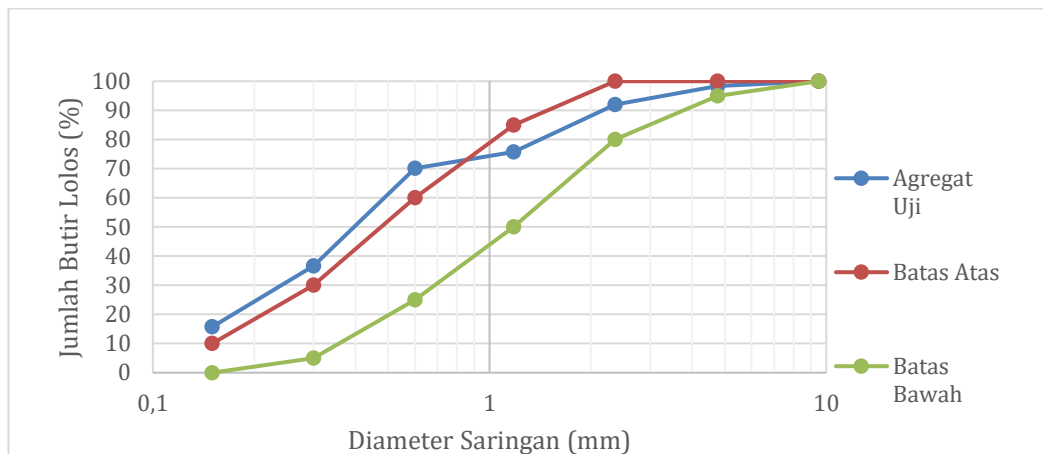
### a. Gradasi Agregat Halus

Analisis gradasi agregat halus dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran pasir melalui pengujian menggunakan beberapa variasi ukuran ayakan. Pengujian ini bertujuan untuk melihat sebaran ukuran butir pasir yang berperan dalam mengisi rongga pada campuran batako sehingga dapat menghasilkan tingkat kepadatan yang optimal. Dari proses pengujian diperoleh data utama berupa berat material yang tertahan pada setiap ayakan. Data tersebut kemudian diolah untuk menghitung persentase berat tertahan kumulatif dan persentase lolos kumulatif. Hasil perhitungan selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai Modulus Kehalusan (MH) pasir yang digunakan dalam campuran. Rekapitulasi hasil analisis gradasi agregat halus pada penelitian ini disajikan seperti pada Tabel 4.1 berikut:

**Tabel 4. 1** Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persentase Lolos Kumulatif (%)
9,5	0	0	0,0	100
4,75	16	1,6	1,6	98,4
2,36	64	6,4	8,0	92
1,18	165,8	16,58	24,6	75,42
0,6	65	6,5	31,1	68,92
0,3	320	32	63,1	36,92
0,15	212	21,2	84,3	15,72
Sisa	157	15,7	100,000	0
<b>Jumlah</b>	999,8	<b>100,000</b>		

Selain disajikan dalam bentuk tabel, hasil analisis gradasi agregat halus juga ditampilkan dalam bentuk grafik untuk mempermudah pengamatan distribusi ukuran butir pasir terhadap standar gradasi yang digunakan. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara ukuran ayakan dan persentase lolos kumulatif agregat halus yang disajikan seperti pada Gambar 4.1 berikut:



**Gambar 4. 1** Grafik Gradasi Agregat Halus

$$MHB = \frac{\Sigma \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{a) Berat Tertinggal (\%)} &= \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\text{Berat Total}} \times 100\% \\ &= \frac{0,2}{1000} \times 100\% \\ &= 0,02\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Fine Modulus (\%)} &= \frac{\Sigma \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{\text{Berat Total}} \times 100\% \\ &= \frac{212,6}{100} \times 100\% \\ &= 2,216\% \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 4.1, hasil pengujian gradasi pasir menunjukkan nilai modulus butir halus sebesar 2,216 %. Jika merujuk pada ketentuan SNI 03-1972 1990, rentang modulus butir halus untuk pasir berada pada 1,5% - 3,8%. Dengan demikian, nilai yang diperoleh pada pengujian ini masih berada dalam batas yang dipersyaratkan sehingga gradasi pasir dinyatakan memenuhi standar.

#### **b. Kadar Lumpur**

Pengujian kadar lumpur pada agregat halus dilakukan untuk mengetahui kandungan partikel halus yang terdapat dalam pasir. Keberadaan lumpur dalam jumlah berlebih dapat mengganggu proses ikatan antara semen dan agregat, sehingga berpotensi menurunkan kuat tekan batako beton pracetak. Oleh karena itu, pengujian ini

dilakukan untuk memastikan bahwa kadar lumpur memenuhi batas yang diperkenankan sesuai standar yang berlaku.

**Tabel 4. 2** Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

Tinggi Lumpur (ml)	Tinggi Pasir (ml)
122	117

$$Kadar Lumpur = \frac{(a - b)}{a} \times 100\%$$

Keterangan:

a : Tinggi Lumpur (ml)

b : Tinggi Pasir (ml)

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Kadar Lumpur} &= \frac{(122 - 117)}{122} \times 100\% \\ &= \frac{5}{122} \times 100\% \\ &= 4,098 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh nilai kadar lumpur pada agregat halus sebesar 4,098%. Nilai tersebut masih berada dalam batas yang diizinkan berdasarkan ketentuan SK-SNI-S-04-1989-F, yang menetapkan bahwa kandungan lumpur pada agregat halus tidak boleh melebihi 5%. Batasan ini diberlakukan karena kandungan lumpur yang berlebihan dapat menghambat proses ikatan antara semen dan agregat, sehingga berpotensi menurunkan kualitas campuran beton yang dihasilkan.

### c. Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian berat jenis agregat halus dilakukan untuk mengukur berat jenis dan tingkat penyerapan air pasir. Nilai berat jenis ini digunakan sebagai dasar untuk menghitung kebutuhan material dalam desain campuran batako beton pracetak, sehingga memungkinkan perhitungan komposisi campuran yang lebih akurat dan konsisten dengan desain.

**Tabel 4.3** Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

No.	Pengujian	Satuan	Hasil Perhitungan
1.	Berat Piknometer Kosong (W1)	gr	200
2.	Berat Piknometer + Aquades (W2)	gr	665
3.	Suhu Piknometer + Aquades (t)	°C	30
4.	Koreksi Suhu Piknometer + Aquades (T1)	°C	0,966
5.	Harga Air Piknometer (WT) = (W2-W1) x (T1)	gr	449,19
6.	Berat Piknometer + Pasir (W3)	gr	640
7.	Berat Piknometer + Pasir + Aquades (W4)	gr	920
8.	Suhu Piknometer + Aquades + Pasir (t)	°C	31
9.	Koreksi Suhu Piknometer + Aquades + Pasir (T2)	°C	0,952
10.	Berat Jenis $G_s = \frac{W_3 - W_1}{WT - (W_4 - W_3) \times T_2}$	gr/cm <sup>3</sup>	2,737

Berdasarkan Tabel 4.3, nilai berat jenis agregat halus yang diperoleh adalah sebesar 2,737 gr/cm<sup>3</sup>. Nilai tersebut berada dalam kisaran yang ditetapkan oleh SNI 1970:2008, yaitu antara 1,6 gr/cm<sup>3</sup> hingga 3,3 gr/cm<sup>3</sup>. Dengan demikian, pasir yang digunakan telah memenuhi persyaratan standar dan dinyatakan layak sebagai bahan penyusun dalam pembuatan batako beton pracetak.

#### **d. Absorpsi Agregat Halus**

Pengujian absorpsi agregat halus dilakukan untuk mengetahui kemampuan pasir dalam menyerap air. Nilai penyerapan ini berpengaruh terhadap kebutuhan air dalam campuran, karena agregat dengan tingkat absorpsi tinggi akan menyerap sebagian air pencampuran. Oleh karena itu, data absorpsi digunakan sebagai acuan dalam penyesuaian jumlah air guna menjaga *workability* serta kualitas campuran batako beton pracetak. Selain itu, penyesuaian ini juga penting untuk memastikan bahwa nilai faktor air semen (FAS) tetap terkendali, sehingga tidak terjadi perubahan rasio yang dapat memengaruhi kekuatan dan mutu campuran yang dihasilkan.

**Tabel 4. 4** Pemeriksaan Absorpsi Agregat Halus

No	Keterangan	Satuan	Jumlah
1.	Berat Pasir SSD	Gram	500
2.	Berat Pasir Setelah di Oven (W)	Gram	495
3.	Absorpsi Agregat Halus = $\{(500 - W)/W \times 100\%$	%	1

#### 4.1.2 Agregat Kasar

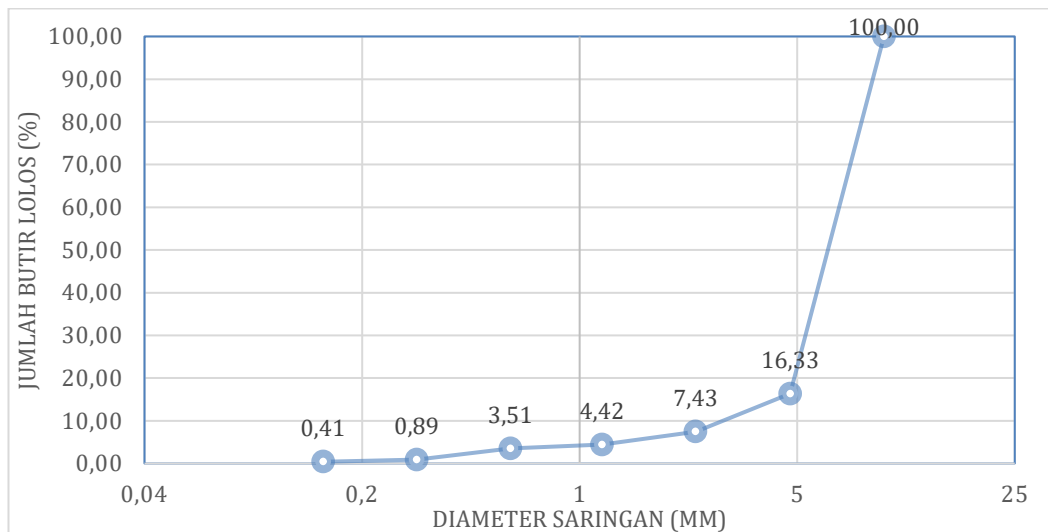
Pengujian agregat kasar dilakukan untuk menentukan karakteristik material yang akan digunakan dalam campuran batako beton pracetak. Parameter yang diuji meliputi gradasi, berat jenis, keausan, dan penyerapan agregat. Hasil setiap pengujian kemudian disajikan dalam bentuk tabel untuk memfasilitasi analisis dan evaluasi kesesuaian material yang digunakan.

##### a. Gradasi Agregat Kasar

Pengujian distribusi ukuran partikel agregat kasar dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran partikel agregat yang digunakan dalam campuran. Hasil pengujian distribusi ukuran partikel agregat kasar ditunjukkan pada Tabel 4.5 berikut:

**Tabel 4. 5** Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persentase Lolos Kumulatif (%)
9,5	0	0	0	100
4,75	1255	83,67	83,67	16,33
2,36	133,5	8,90	92,57	7,43
1,18	45,2	3,01	95,58	4,42
0,6	13,6	0,91	96,49	3,51
0,3	39,4	2,63	99,11	0,89
0,15	7,2	0,48	99,59	0,41
Sisa	4,8	0,32	99,91	0
<b>Jumlah</b>	1498,7	99,91		



**Gambar 4. 2** Grafik Gradasi Agregat Kasar

$$MHB = \frac{\Sigma \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{a) Berat Tertinggal (\%)} &= \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\text{Berat Total}} \times 100\% \\ &= \frac{1,3}{1500} \times 100\% \\ &= 0,086\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) fineness modulus (\%)} &= \frac{\Sigma \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{\text{Berat Total}} \times 100\% \\ &= \frac{666,92}{100} \times 100\% \\ &= 2,216\% \end{aligned}$$

Hasil modulus kehalusan (*fineness modulus*) pada agregat kasar diperoleh sebesar 6,69. Nilai tersebut masih berada dalam rentang yang disyaratkan yaitu antara 6,0–7,1, sehingga menunjukkan bahwa distribusi ukuran butir agregat kasar telah sesuai dengan kriteria yang ditetapkan. Dengan demikian, agregat kasar yang digunakan dinilai memenuhi persyaratan untuk digunakan dalam campuran batako beton pracetak. Kondisi gradasi agregat yang baik juga dapat membantu menghasilkan campuran yang lebih padat dan stabil.

### b. Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian berat jenis agregat kasar dilakukan untuk menentukan nilai berat jenis sebagai dasar perhitungan proporsi campuran. Hasil pengujian berat jenis agregat kasar disajikan pada Tabel 4.6 berikut:

**Tabel 4. 6** Berat Jenis Agregat Kasar

No.	Pengujian	Satuan	Hasil Perhitungan
1.	Berat Batu Pecah (W1)	gr	1000
2.	Berat Batu Pecah dalam Air (W2)	gr	610
3.	Berat Jenis Kerikil = $W1/(W1-W2)$	gr/cm <sup>3</sup>	2,564

### c. Keausan Agregat Kasar

Pengujian keausan agregat kasar dilakukan untuk menentukan ketahanan agregat terhadap gesekan atau abrasi. Nilai keausan ini menunjukkan tingkat kekuatan agregat saat berada di bawah beban. Hasil pengujian keausan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut:

**Tabel 4. 7** Keausan Agregat Kasar

Berat Agregat Awal (gram) A	Berat Agregat di LA (gram) B	Persentase Keausan Agregat (%)
5000	3830	23,4

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, nilai keausan agregat kasar diperoleh sebesar 23,4%. Nilai tersebut masih berada dalam batas yang diperkenankan, sehingga agregat kasar yang digunakan dinyatakan memenuhi persyaratan ketahanan terhadap keausan. Pengujian ini mengacu pada SNI 03-2417-1991 mengenai metode pengujian keausan agregat menggunakan mesin Los Angeles.

### d. Absorpsi Agregat Kasar

Pengujian penyerapan agregat kasar dilakukan untuk menentukan kemampuan agregat dalam menyerap udara, yang akan memengaruhi kebutuhan udara dalam

campuran. Hasil pengujian penyerapan agregat kasar disajikan seperti Tabel 4.8 berikut:

**Tabel 4. 8** Absorpsi Agregat Kasar

No	Keterangan	Satuan	Jumlah
1.	Berat Batu Pecah SSD	Gram	1000
2.	Berat Batu Pecah Setelah di Oven (W)	Gram	975
3.	Absorpsi Agregat Kasar = $\{(1000 - W)/W \times 100\%$	%	2,5

Pengujian penyerapan agregat kasar dilakukan untuk mengetahui kemampuan agregat dalam menyerap air yang memengaruhi kebutuhan air campuran. Berdasarkan Tabel 4.8, diperoleh nilai penyerapan sebesar 2,5%, yang masih memenuhi batas yang diizinkan menurut SNI 1969:2008. Dengan demikian, agregat kasar yang digunakan layak sebagai bahan campuran batako beton pracetak.

#### **4.1.3 Semen**

Pengujian semen dilakukan untuk mengetahui karakteristik semen yang digunakan pada campuran batako beton pracetak. Pengujian ini mengacu pada standar SNI yang berlaku guna memastikan semen memenuhi persyaratan mutu serta dapat menghasilkan campuran batako beton pracetak yang baik sesuai rencana. Parameter yang diuji meliputi konsistensi standar dan waktu pengerasan awal. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel untuk mempermudah analisis.

##### **a. Konsistensi Normal Semen**

Pengujian konsistensi normal semen dilakukan untuk mengetahui kebutuhan air yang diperlukan agar mencapai kondisi standar, yang kemudian digunakan sebagai dasar dalam pengujian waktu pengerasan. Pengujian ini mengacu pada SNI 03-6826-2002 tentang metode pengujian konsistensi normal semen hidrolis menggunakan alat Vicat. Hasil pengujian pada semen tanpa campuran dan dengan tambahan cangkang kerang *Anadara granosa* disajikan sebagai berikut:

### 1) Semen Portland 100%

**Tabel 4. 9** Konsistensi Semen 100%

No.	Berat Semen (gr)	Persentase Air (%)	Penurunan Jarum (mm)	Suhu (°C)	Keterangan
1.	300	27	10	28	Semen Tiga Roda
2.	300	29	14	28	
3.	300	30	18	28	

### 2) Semen Portland 95% dan Kerang Anadara 5%

**Tabel 4. 10** Konsistensi Semen 95% + Kerang 5%

No.	Berat Semen (gr)	Berat Kerang (gr)	Persentase Air (%)	Penurunan Jarum (mm)	Suhu (°C)	Keterangan
1.	285	15	29	12	28	Semen Tiga Roda

### 3) Semen Portland 90% dan Kerang Anadara 10%

**Tabel 4. 11** Konsistensi Semen 90% + Kerang 10%

No.	Berat Semen (gr)	Berat Kerang (gr)	Persentase Air (%)	Penurunan Jarum (mm)	Suhu (°C)	Keterangan
1.	270	30	29	15	28	Semen Tiga Roda

### 4) Semen Portland 85% dan Kerang Anadara 15%

**Tabel 4. 12** Konsistensi Semen 85% + Kerang 15%

No.	Berat Semen (gr)	Berat Kerang (gr)	Persentase Air (%)	Penurunan Jarum (mm)	Suhu (°C)	Keterangan
1.	255	45	29	11	28	Semen Tiga Roda

#### b. Ikatan Awal Semen

Pengujian waktu ikat awal semen dilakukan untuk menentukan durasi yang dibutuhkan semen mulai mengalami proses pengerasan setelah bereaksi dengan air. Pengujian ini mengacu pada SNI 03-6827-2002 tentang metode pengujian waktu ikat semen menggunakan alat vicatt, sehingga hasil yang diperoleh dapat dibandingkan dengan persyaratan standar yang berlaku. Hasil pengujian waktu ikat awal disajikan pada tabel berikut:

**1) Semen Portland 100%**

**Tabel 4. 13** Ikatan Semen 100%

No.	Waktu Penurunan (menit)	Penurunan Jarum (mm)	Suhu (°C)	Keterangan
1.	0	30	28	Semen Tiga Roda
2.	15	28	28	
3.	30	25	28	

**2) Semen Portland 95% dan Kerang Anadara 5%**

**Tabel 4. 14** Ikatan Semen 95% + Kerang 5%

No.	Waktu Penurunan (menit)	Penurunan Jarum (mm)	Suhu (°C)	Keterangan
1.	0	30	28	Semen Tiga Roda
2.	15	27	28	
3.	30	25	28	

**3) Semen Portland 90% dan Kerang Anadara 10%**

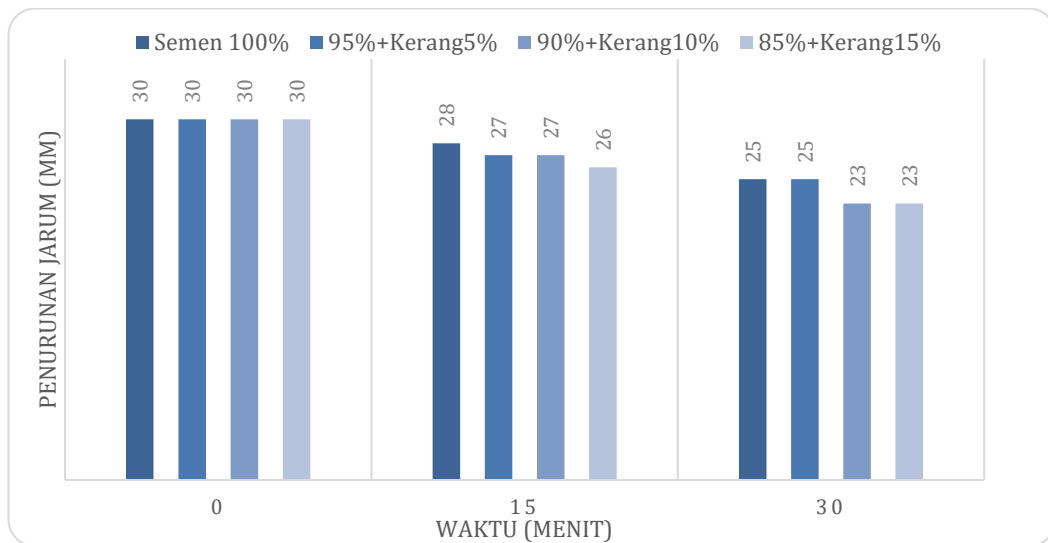
**Tabel 4. 15** Ikatan Semen 90% + Kerang 10%

No.	Waktu Penurunan (menit)	Penurunan Jarum (mm)	Suhu (°C)	Keterangan
1.	0	30	28	Semen Tiga Roda
2.	15	28	28	
3.	30	23	28	

**4) Semen Portland 85% dan Kerang Anadara 15%**

**Tabel 4. 16** Ikatan Semen 85% + Kerang 15%

No.	Waktu Penurunan (menit)	Penurunan Jarum (mm)	Suhu (°C)	Keterangan
1.	0	30	28	Semen Tiga Roda
2.	15	28	28	
3.	30	23	28	



**Gambar 4.3** Grafik Ikatan Awal Semen

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, semen yang digunakan menunjukkan karakteristik yang masih memenuhi persyaratan untuk digunakan dalam campuran batako beton pracetak. Nilai konsistensi standar dan waktu pengerasan yang diperoleh menunjukkan bahwa semen memiliki kemampuan ikat dan proses hidrasi yang baik, sehingga dapat mendukung kualitas campuran beton sesuai perencanaan.

#### 4.1.4 *Rockwool*

Pengujian *rockwool* dilakukan untuk menentukan karakteristik material yang digunakan sebagai pengganti dalam campuran batako beton pracetak. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan sifat fisik *rockwool*, yang memengaruhi berat campuran, penyerapan air, serta kinerja termal dan akustik dari blok beton yang dihasilkan. Parameter yang diuji meliputi berat jenis dan penyerapan *rockwool*. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel untuk memudahkan analisis.

##### a. Berat Jenis *Rockwool*

Pengujian berat jenis *rockwool* dilakukan untuk mengetahui nilai berat jenis material yang digunakan dalam campuran batako beton pracetak. Nilai ini digunakan sebagai dasar dalam perhitungan proporsi campuran dan mengetahui pengaruh *rockwool* terhadap berat volume batako.

**Tabel 4. 17** Pengujian Berat Jenis *Rockwool*

No.	Pengujian	Satuan	Hasil Perhitungan
1.	Berat Piknometer Kosong (W1)	gr	310
2.	Berat Piknometer + Aquades (W2)	gr	805
3.	Suhu Piknometer + Aquades (t)	°C	30
4.	Koreksi Suhu Piknometer + Aquades (T1)	°C	0,966
5.	Harga Air Piknometer (Wt) = (W2-W1) x (T1)	gr	478,17
6.	Berat Piknometer + <i>Rockwool</i> (W3)	gr	365
7.	Berat Piknometer + <i>Rockwool</i> + Aquades (W4)	gr	765
8.	Suhu Piknometer + Aquades + <i>Rockwool</i> (t)	°C	31
9.	Koreksi Suhu Piknometer + Aquades + <i>Rockwool</i> (T2)	°C	0,965
10.	Berat Jenis $Gs = \frac{W3 - W1}{WT - (W4 - W3) \times T2}$	gr/cm <sup>3</sup>	0,596

**b. Absorpsi *Rockwool***

Pengujian absorpsi *rockwool* dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dalam menyerap air. Nilai absorpsi pada *rockwool* akan mempengaruhi kebutuhan air dalam campuran serta memengaruhi karakteristik batako yang dihasilkan. Hasil pengujian absorpsi *rockwool* disajikan pada Tabel 4.18 berikut:

**Tabel 4. 18** Pengujian Absorpsi *Rockwool*

No	Keterangan	Satuan	Jumlah
1.	Berat <i>Rockwool</i> SSD (W)	Gram	50
2.	Berat <i>Rockwool</i> Basah (Wb)	Gram	280
3.	Absorpsi <i>Rockwool</i> = {(Wb - W)/W x 100%}	%	46

**4.2 Analisis Pengujian Kuat Tekan Batako Beton Pracetak**

Pengujian kuat tekan batako beton pracetak dilakukan di Laboratorium Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur Universitas Diponegoro dengan menggunakan metode *rebound hammer* sebagai pengujian tidak merusak (*non-destructive test*). Pengujian ini mengacu pada SNI 03-4430-1997 tentang metode pengujian kekuatan beton dengan palu pantul, yang digunakan untuk

memperkirakan kuat tekan berdasarkan nilai pantulan permukaan. Setiap variasi diuji menggunakan tiga benda uji guna memperoleh nilai rata-rata yang lebih representatif. Nilai *rebound* yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi kuat tekan dalam satuan Megapascal (MPa) menggunakan kurva kalibrasi yang sesuai. Hasil pengujian tersebut selanjutnya disajikan pada Tabel 4.19 dan Tabel 4.20.

**Tabel 4. 19** Hasil *Rebound Hammer Test* Batako Beton Pracetak

Variasi	Sampel	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
A (0%:0%)	A1	22	24	23	20	22	24	22	21	21	23
	A2	23	20	22	21	27	31	26	23	22	21
	A3	24	26	23	28	24	27	24	26	27	22
B (5%:2%)	B1	16	19	20	25	20	26	23	20	19	21
	B2	18	21	20	21	23	20	19	25	24	22
	B3	18	24	19	21	24	27	26	22	23	19
C (10%:3%)	C1	18	17	17	21	23	22	25	26	22	20
	C2	21	20	19	20	21	20	19	21	20	21
	C3	17	15	19	36	26	19	24	17	18	19
D (15%:5%)	D1	19	19	18	19	17	20	25	20	25	23
	D2	18	20	18	21	22	21	19	20	19	18
	D3	19	18	24	18	21	28	20	24	21	20

**Tabel 4. 20** Hasil *Hammer Test* Batako Beton Pracetak

Variasi	Sampel	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
		(kg/cm <sup>2</sup> )									
A (0%:0%)	A1	148	170	158	122	148	170	148	135	135	158
	A2	158	122	135	135	210	265	170	158	148	135
	A3	170	195	158	222	170	195	170	195	210	148
B (5%:2%)	B1	96	122	135	135	122	170	148	122	122	135
	B2	109	135	135	135	158	135	122	182	170	148
	B3	109	170	122	135	170	195	170	148	158	122
C (10%:3%)	C1	109	96	96	135	158	148	182	195	148	122
	C2	135	122	122	122	135	122	122	135	122	135
	C3	96	57	122	337	195	122	158	96	109	122
D (15%:5%)	D1	122	122	109	122	96	135	182	135	182	158
	D2	109	122	109	135	148	135	122	135	122	109
	D3	122	109	170	109	135	222	135	170	135	122

**Tabel 4. 21** Analisa Perhitungan *Hammer Test* Batako Beton Pracetak

Variasi	Sampel	Rata-rata (Kg/cm <sup>2</sup> )	$f - f_{mean}$	$(f - f_{mean})^2$	Standar Deviasi	f'ck (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (MPa)
A (0%:0%)	A1	148,22	-16,82	282,86	14,32	141,55	13,88
	A2	163,60	-1,44	2,08			
	A3	183,30	18,26	333,40			
B (5%:2%)	B1	130,70	-10,47	109,55	7,87	128,26	12,57
	B2	142,90	1,73	3,00			
	B3	149,90	8,73	76,27			
C (10%:3%)	C1	138,90	3,07	9,40	6,11	125,82	12,33
	C2	127,20	-8,63	74,53			
	C3	141,40	5,57	30,99			
D (15%:5%)	D1	136,30	1,70	2,89	7,50	122,30	11,99
	D2	124,60	-10,00	100,00			
	D3	142,90	8,30	68,89			

Perhitungan Kuat Tekan Batako Beton Pracetak Variasi A1 (0% : 0%)

a) Rata- Rata

$$f_{mean} = \frac{(T1 + T2 + \dots + T10)}{n}$$

$$f_{mean} = \frac{(148 + 170 + 158 + 122 + 148 + 170 + 148 + 135 + 135 + 158)}{10}$$

$$f_{mean} = 148,22 \text{ kg/cm}^2$$

b) Selisih Terhadap Rata- Rata

$$\begin{aligned} (f - f_{mean}) &= f_i - f_{mean} \\ &= 148,22 - 165,04 \\ &= -16,82 \end{aligned}$$

c) Kuadrat Selisih

$$(f - f_{mean})^2 = (-16,82)^2 = 282,86$$

d) Standar Deviasi

$$s = \sqrt{\frac{\Sigma(f - f_{mean})^2}{(n - 1)}}$$

$$s = \sqrt{\frac{(282,86 + 2,08 + 333,04)}{(3 - 1)}}$$

$$s = 14,32$$

e) Kuat Tekan Karakteristik

$$f'_{ck} = f_{mean} - 1,64 \times s$$

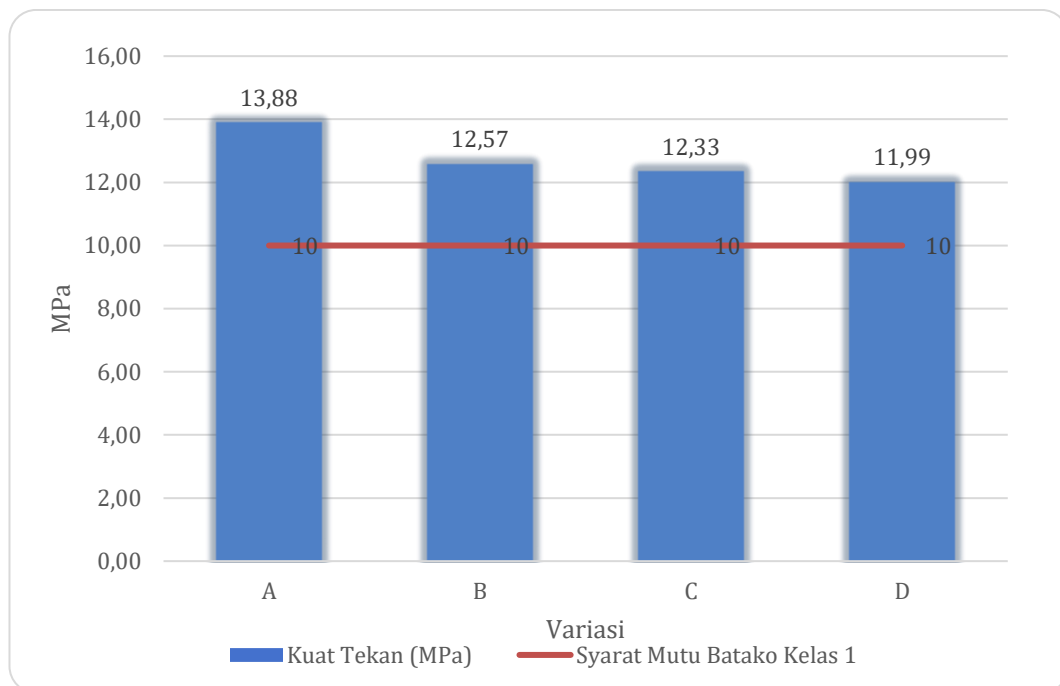
$$f'_{ck} = 165,04 - (1,64 \times 14,32)$$

$$f'_{ck} = 141,55 \text{ kg/cm}^2$$

f) Konversi ke MPa

$$f'_c = \frac{f'_{ck}}{10,197}$$

$$f'_c = \frac{141,55}{10,197} = 13,88 \text{ MPa}$$



**Gambar 4. 4** Grafik Hasil Kuat Tekan Batako Beton Pracetak

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan batako beton pracetak pada umur 28 hari menggunakan metode *rebound hammer*, diperoleh variasi nilai kuat tekan pada setiap komposisi campuran. Variasi A (0%:0%) sebagai kontrol menunjukkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 13,88 MPa. Selanjutnya, variasi B (5%:2%) menghasilkan kuat tekan sebesar 12,57 MPa, variasi C (10%:3%) sebesar 12,33 MPa, dan variasi D (15%:5%) sebesar 11,99 MPa.

Hasil tersebut menunjukkan adanya kecenderungan penurunan kuat tekan seiring dengan meningkatnya proporsi penambahan cangkang kerang *Anadara granosa* dan *rockwool* dalam campuran. Penurunan ini mengindikasikan bahwa penambahan material substitusi memberikan pengaruh terhadap karakteristik mekanis batako, khususnya pada kepadatan struktur internal material.

Fenomena penurunan kuat tekan pada penelitian ini dapat dijelaskan melalui peningkatan porositas yang terjadi akibat penambahan material berserat dan berongga seperti *rockwool*. Struktur berpori menyebabkan terbentuknya rongga udara dalam matriks beton, sehingga ikatan antar partikel menjadi kurang padat dan distribusi tegangan saat menerima beban tekan menjadi tidak merata. Hal ini sejalan dengan penelitian Debby Sinta Devi et al. (2025) yang menyatakan bahwa pada kadar tertentu, penggunaan cangkang kerang sebagai material substitusi dapat meningkatkan porositas dan menyebabkan penurunan performa mekanik beton.

Namun demikian, jika ditinjau dari karakteristik material cangkang kerang *Anadara granosa*, material ini memiliki kandungan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang secara teoritis berpotensi meningkatkan kekuatan melalui reaksi pozzolan pada kadar tertentu. Hal ini didukung oleh penelitian Ifal Rahmadani et al. (2025) yang menunjukkan bahwa substitusi cangkang kerang hingga kadar 7% mampu meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan beton normal. Perbedaan hasil tersebut menunjukkan bahwa pada penelitian ini, efek peningkatan kekuatan dari cangkang kerang tidak dominan, karena dipengaruhi oleh adanya penambahan *rockwool* yang memiliki karakteristik sangat berpori dan berdensitas rendah.

Dengan demikian, penurunan kuat tekan pada penelitian ini bukan menunjukkan bahwa cangkang kerang tidak berfungsi, melainkan menunjukkan adanya interaksi antar material dalam sistem campuran, di mana pengaruh porositas akibat penambahan *rockwool* lebih dominan dibandingkan kontribusi penguatan dari cangkang kerang. Kondisi ini menunjukkan adanya hubungan *trade-off* antara sifat mekanis dan sifat insulasi material.

Meskipun terjadi penurunan nilai kuat tekan, seluruh variasi masih berada di atas batas minimum kuat tekan batako kelas I yaitu sebesar 10 MPa sesuai SNI 03-0349-1989. Hal ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan batako yang dihasilkan

masih memenuhi persyaratan mutu dan layak digunakan sebagai material konstruksi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan cangkang kerang *Anadara granosa* dan *rockwool* memberikan pengaruh terhadap kinerja mekanis batako beton pracetak. Penurunan kuat tekan yang terjadi berkaitan dengan peningkatan porositas material, namun masih dalam batas yang dapat diterima, sehingga material tetap memiliki potensi untuk digunakan dengan mempertimbangkan keseimbangan antara kekuatan, kinerja termal, dan performa akustik yang dihasilkan.

#### 4.3 Analisis Pengujian Daya Serap Air Batako Beton Pracetak

Pengujian daya serap air dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan batako beton pracetak dalam menyerap air, khususnya akibat penambahan cangkang kerang *Anadara granosa* dan *rockwool* dalam campuran. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat porositas material yang berpengaruh terhadap kepadatan dan ketahanan batako.

Pelaksanaan pengujian menggunakan tiga sampel pada setiap variasi guna memperoleh data yang representatif. Pengujian dilakukan setelah benda uji mencapai umur tertentu untuk melihat perkembangan karakteristik fisik material. Analisis hasil pengujian daya serap air mengacu pada ketentuan dalam SNI 03-0349-1989, dengan perhitungan yang dijelaskan sebagai berikut.

**Tabel 4. 22** Hasil Pengujian Daya Serap Batako Beton Pracetak

Variasi Campuran	Sampel	Berat Kering (gr)	Berat Basah (gr)	Daya Serap (%)	Rata-rata (%)
A (0%:0%)	A1	9430	9475	0,48	0,56
	A2	9680	9740	0,62	
	A3	9420	9475	0,58	
B (5%:2%)	B1	9530	9595	0,68	0,75
	B2	9405	9460	0,58	
	B3	9025	9115	1,00	
C (10%:3%)	C1	8790	8890	1,14	1,09
	C2	8750	8845	1,09	
	C3	8660	8750	1,04	

Variasi Campuran	Sampel	Berat Kering (gr)	Berat Basah (gr)	Daya Serap (%)	Rata-rata (%)
D (15%:5%)	D1	8435	8515	0,95	1,20
	D2	8595	8720	1,45	
	D3	8435	8535	1,19	

Perhitungan Daya Serap Batako Beton Pracetak Variasi A (0% : 0%)

a) Sampel A1

$$\begin{aligned} \text{Daya Serap Air} &= \frac{W \text{ basah} - W \text{ kering}}{W \text{ kering}} \times 100\% \\ &= \frac{9475 - 9430}{9430} \times 100\% \\ &= 0,48\% \end{aligned}$$

b) Sampel A2

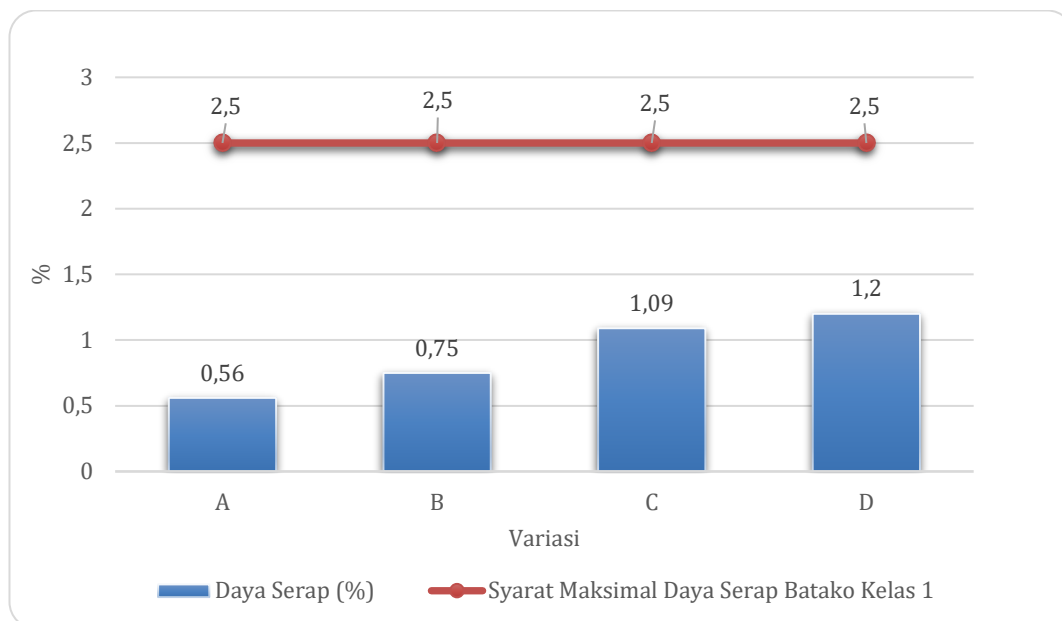
$$\begin{aligned} \text{Daya Serap Air} &= \frac{W \text{ basah} - W \text{ kering}}{W \text{ kering}} \times 100\% \\ &= \frac{9740 - 9680}{9680} \times 100\% \\ &= 0,62\% \end{aligned}$$

c) Sampel A3

$$\begin{aligned} \text{Daya Serap Air} &= \frac{W \text{ basah} - W \text{ kering}}{W \text{ kering}} \times 100\% \\ &= \frac{9475 - 9420}{9420} \times 100\% \\ &= 0,58\% \end{aligned}$$

d) Rata-rata variasi A

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata} &= \frac{A1 + A2 + A3}{n} \\ &= \frac{0,48\% + 0,62\% + 0,58\%}{3} \\ &= 0,56\% \end{aligned}$$



**Gambar 4. 5** Grafik Hasil Pengujian Daya Serap Batako Beton Pracetak

Berdasarkan hasil pengujian daya serap air batako beton pracetak pada umur 28 hari, diperoleh perbedaan nilai penyerapan pada setiap variasi campuran. Variasi A (0%:0%) sebagai kontrol menunjukkan nilai rata-rata sebesar 0,56%, sedangkan variasi B (5%:2%) sebesar 0,75%, variasi C (10%:3%) sebesar 1,09%, dan variasi D (15%:5%) sebesar 1,20%.

Hasil tersebut menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan daya serap air seiring bertambahnya proporsi cangkang kerang *Anadara granosa* dan *rockwool* dalam campuran. Kondisi ini mengindikasikan terjadinya perubahan pada struktur internal material, khususnya peningkatan porositas yang menyebabkan kemampuan material dalam menyerap air menjadi lebih besar dibandingkan batako konvensional.

Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh Annisa Noor Fadhila (2022) yang menyatakan bahwa penambahan material berbasis limbah organik sebagai agregat dapat meningkatkan daya serap air akibat terbentuknya struktur yang lebih berpori dalam matriks batako. Selain itu, penelitian oleh Debby Sinta Devi et al. (2025) juga menunjukkan bahwa pada kadar tertentu, penggunaan material substitusi seperti cangkang kerang dapat meningkatkan porositas sehingga mempengaruhi sifat fisik dan mekanik material.

Peningkatan daya serap air pada penelitian ini juga diperkuat oleh karakteristik *rockwool* sebagai material berserat dan berpori. Struktur berpori pada *rockwool* menyebabkan terbentuknya rongga udara di dalam campuran, sehingga air lebih mudah masuk dan terserap ke dalam material. Hal ini sejalan dengan penelitian Hemmati et al. (2024) yang menyatakan bahwa struktur berpori pada material berbasis *rockwool* berkontribusi terhadap peningkatan kemampuan penyerapan, baik terhadap energi panas maupun fluida, akibat adanya rongga internal yang tidak sepenuhnya terisi oleh matriks semen.

Meskipun terjadi peningkatan nilai daya serap air, seluruh variasi masih berada dalam batas yang dipersyaratkan oleh SNI 03-0349-1989, yaitu tidak melebihi 25% untuk batako pejal mutu I. Hal ini menunjukkan bahwa dari aspek sifat fisik, batako yang dihasilkan tetap memenuhi ketentuan standar yang berlaku dan masih layak digunakan sebagai material konstruksi.

Secara keseluruhan, penambahan cangkang kerang *Anadara granosa* dan *rockwool* memberikan pengaruh terhadap nilai daya serap air batako beton pracetak. Variasi A menunjukkan nilai terendah sebagai campuran konvensional, sedangkan peningkatan pada variasi lainnya menunjukkan adanya hubungan langsung antara peningkatan kadar material tambahan dengan bertambahnya porositas, yang berdampak pada meningkatnya kemampuan penyerapan air pada material.

#### **4.4 Analisis Pengujian Termal Batako Beton Pracetak**

Pengujian termal batako beton pracetak dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan material dalam menghambat perpindahan panas akibat penambahan cangkang kerang *Anadara granosa* dan *rockwool* dalam campuran. Pengujian ini menggunakan alat *thermocouple* untuk mengukur perbedaan suhu antara sisi luar dan sisi dalam batako pada setiap variasi. Data hasil pengukuran suhu yang diperoleh kemudian disajikan secara sistematis pada Tabel 4.23 dan Tabel 4.24 berikut dan dianalisis untuk mengetahui kinerja insulasi termal material serta pengaruh variasi campuran terhadap kemampuan batako dalam mereduksi panas.

Tabel 4. 23 Hasil Pengujian Termal Batako Beton Pracetak

Variasi	Sample	Waktu (menit)	Suhu Titik Api Luar (°C)	Suhu Sisi Dalam (°C)	$\Delta T$ (°C)	Rata-rata $\Delta T$ (°C)	Rata-Rata (°C)
A	A1	0	31	31	0	52,50	58,83
		1	46	31	15		
		2	93	33	60		
		3	98	34	64		
		4	104	36	68		
		5	148	40	108		
	A2	0	29	29	0	64,67	
		1	56	30	26		
		2	88	32	56		
		3	110	32	78		
		4	129	34	95		
		5	169	36	133		
	A3	0	30	29	1	59,33	
		1	59	31	28		
		2	90	34	56		
3		106	35	71			
4		126	36	90			
5		146	36	110			
B	B1	0	28	28	0	50,17	
		1	70	33	37		
		2	86	33	53		
		3	92	34	58		
		4	103	34	69		
		5	118	34	84		
	B2	0	28	28	0	54,67	
		1	65	29	36		
		2	75	29	46		
		3	87	31	56		
		4	119	32	87		
		5	135	32	103		
	B3	0	28	28	0	57,83	
		1	72	29	43		
		2	80	29	51		
3		94	30	64			
4		116	32	84			
5		138	33	105			

Variasi	Sample	Waktu (menit)	Suhu Titik Api Luar (°C)	Suhu Sisi Dalam (°C)	$\Delta T$ (°C)	Rata-rata $\Delta T$ (°C)	Rata-Rata (°C)
C	C1	0	27	27	0	49,33	50,56
		1	65	28	37		
		2	68	30	38		
		3	95	31	64		
		4	108	31	77		
	C2	5	111	31	80	54,67	
		0	28	28	0		
		1	65	28	37		
		2	72	29	43		
		3	96	29	67		
	C3	4	115	30	85	47,67	
		5	127	31	96		
		0	29	29	0		
		1	52	31	21		
		2	76	31	45		
D	D1	3	95	31	64	45,83	
		4	104	31	73		
		5	117	34	83		
		0	28	28	0		
		1	54	29	25		
	D2	2	68	29	39	46,50	
		3	88	29	59		
		4	96	30	66		
		5	116	30	86		
		0	29	29	0		
	D3	1	52	28	24	46,17	
		2	74	28	46		
		3	85	28	57		
		4	93	29	64		
		5	117	29	88		
0	28	28	0	46,17			
1	57	28	29				
2	70	28	42				
3	84	29	55				
4	97	29	68				
5	112	29	83				

Perhitungan reduksi termal dilakukan untuk mengetahui kemampuan batako dalam menahan perpindahan panas dengan membandingkan selisih suhu luar dan dalam. Variasi A digunakan sebagai kontrol, sedangkan variasi B dianalisis untuk melihat peningkatan kinerja insulasi termal berdasarkan nilai reduksi yang dihasilkan.

- a) Selisih Waktu Variasi B1 Menit Ke-5

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_{luar} - T_{dalam} \\ &= 118 - 34 \\ &= 84\end{aligned}$$

- b) Rata-Rata Selisih Suhu Variasi B1

$$\begin{aligned}\Delta T_{rata} &= \frac{(\Delta T1 + \Delta T2 + \Delta T3 + \dots + \Delta Tn)}{n} \\ &= \frac{(0 + 37 + 53 + 58 + 69 + 84)}{6} \\ &= 50,17\end{aligned}$$

- c) Rata-Rata Suhu Variasi B

$$\begin{aligned}\Delta T_{rata} &= \frac{(\Delta T1 + \Delta T2 + \Delta T3 + \dots + \Delta Tn)}{n} \\ &= \frac{(50,17 + 54,67 + 57,83)}{3} \\ &= 54,22\end{aligned}$$

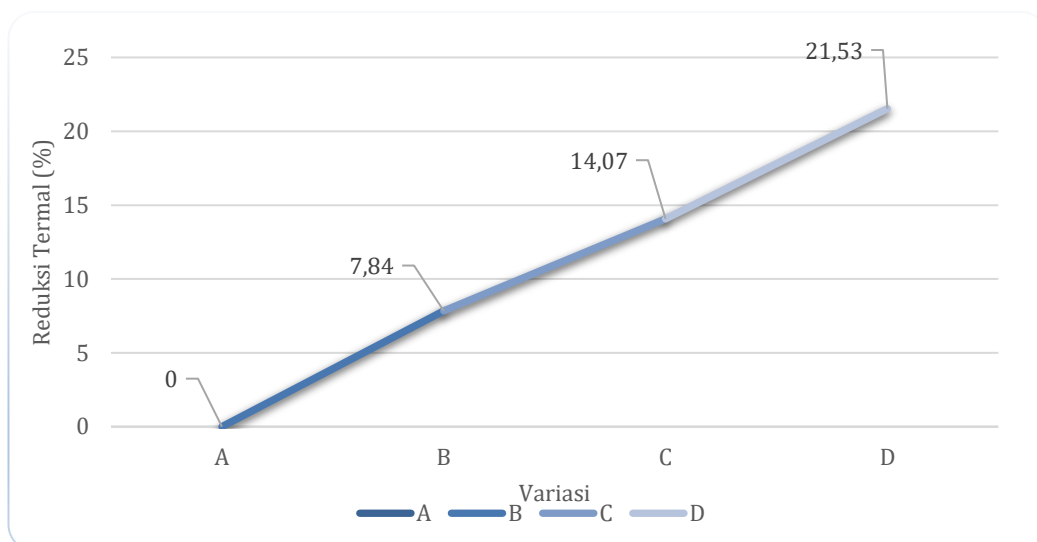
- d) Reduksi Termal Variasi B

$$\begin{aligned}\text{Reduksi (\%)} &= \left( \frac{(\Delta T_A - \Delta T_B)}{\Delta T_A} \right) \times 100 \\ &= \left( \frac{(58,83 - 54,22)}{58,83} \right) \times 100 \\ &= 7,84 \%\end{aligned}$$

**Tabel 4. 24** Analisa Reduksi Termal Batako Beton Pracetak

Variasi	Rata-Rata (°C)	Reduksi Termal (%)
A (0%:0%)	58,83	0
B (5%:2%)	54,22	7,84

Variasi	Rata-Rata (°C)	Reduksi Termal (%)
C (10%:3%)	50,56	14,07
D (15%:5%)	46,17	21,53



**Gambar 4. 6** Grafik Hasil Pengujian Termal Batako Beton Pracetak

Berdasarkan hasil pengujian termal batako beton pracetak yang disajikan pada Tabel 4.24, analisis dilakukan dengan membandingkan setiap variasi terhadap variasi A (0%:0%) sebagai kontrol. Variasi A memiliki nilai rata-rata temperatur sebesar 58,83°C dan dijadikan sebagai acuan dengan nilai reduksi termal sebesar 0%. Selanjutnya, variasi B (5%:2%) menunjukkan penurunan temperatur menjadi 54,22°C dengan persentase reduksi sebesar 7,84%, diikuti variasi C (10%:3%) sebesar 50,56°C dengan reduksi 14,07%, serta variasi D (15%:5%) sebesar 46,17°C dengan reduksi tertinggi yaitu 21,53%.

Hasil tersebut menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan kemampuan insulasi termal seiring dengan bertambahnya proporsi cangkang kerang *Anadara granosa* dan *rockwool* dalam campuran. Semakin besar nilai reduksi temperatur yang dihasilkan, semakin efektif material dalam menghambat perpindahan panas dari sisi luar ke dalam batako. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan material substitusi memberikan pengaruh terhadap kinerja termal material.

Peningkatan kemampuan insulasi termal pada penelitian ini dapat dijelaskan melalui perubahan struktur internal material, khususnya meningkatnya porositas

akibat penambahan *rockwool*. Struktur berpori dengan rongga udara yang terbentuk di dalam matriks beton berperan sebagai hambatan terhadap perpindahan panas secara konduksi. Udara yang terperangkap dalam pori memiliki konduktivitas termal yang rendah, sehingga mampu memperlambat aliran panas yang masuk ke dalam material.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Hemmati et al. (2024) yang menyatakan bahwa penambahan *rockwool* pada material berbasis semen dapat menurunkan konduktivitas termal dan meningkatkan kemampuan insulasi panas. Hal tersebut disebabkan oleh struktur serat dan pori-pori pada *rockwool* yang mampu menghambat perpindahan panas, sehingga material menjadi lebih efektif dalam mempertahankan perbedaan temperatur antara sisi luar dan dalam.

Selain itu, metode pengujian termal yang dilakukan menggunakan sumber panas (*torch*) dengan kondisi pemanasan yang dijaga konstan pada setiap benda uji bertujuan untuk meminimalkan variasi hasil akibat perbedaan perlakuan panas. Dengan demikian, perbandingan antar variasi dapat dilakukan secara lebih konsisten, meskipun pengujian ini belum mengacu pada standar pengujian konduktivitas termal secara langsung. Oleh karena itu, hasil yang diperoleh lebih menekankan pada kecenderungan perilaku termal relatif antar variasi.

Secara keseluruhan, penambahan cangkang kerang *Anadara granosa* dan *rockwool* memberikan pengaruh positif terhadap kemampuan insulasi termal batako beton pracetak. Peningkatan kinerja termal yang terjadi berkaitan dengan terbentuknya struktur berpori dalam material, yang mampu menghambat perpindahan panas. Hal ini menunjukkan bahwa material yang dikembangkan memiliki potensi sebagai bahan dinding dengan fungsi tambahan dalam meningkatkan kenyamanan termal bangunan.

#### **4.5 Analisis Pengujian Akustik Batako Beton Pracetak**

Pengujian akustik batako beton pracetak dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan material dalam meredam gelombang suara akibat penambahan cangkang kerang *Anadara granosa* dan *rockwool* dalam campuran. Pengujian ini menggunakan alat *sound level meter* untuk mengukur perbedaan tingkat intensitas

suara antara sisi luar dan dalam pada setiap variasi. Data hasil pengukuran kemudian disajikan dalam bentuk Tabel 4.25 dan Gambar 4.7 berikut:

**Tabel 4. 25** Hasil Pengujian Akustik Batako Beton Pracetak

Variasi	Frekuensi (Hz)	Intensitas Dalam (dB)		Rata-Rata	Intensitas Luar (dB)		Rata - Rata	$\Delta I$ (dB)	Reduksi (%)
		1	2		1	2			
A	500	86,7	89,6	88,15	59,8	55,7	57,75	29,90	0,00
	2000	97,4	97,3	97,35	68,6	69,5	69,05		
	4000	99,4	98,5	98,95	68,9	67	67,95		
<b>Total Rata-Rata</b>				<b>94,82</b>			<b>64,92</b>		
B	500	87	87,5	87,25	57,1	56,8	56,95	28,48	4,74
	2000	97	97,6	97,3	70,7	68,5	69,6		
	4000	89,5	88,6	89,05	62,4	60,8	61,6		
<b>Total Rata-Rata</b>				<b>91,20</b>			<b>62,72</b>		
C	500	87	89	88	55,9	55,8	55,85	28,43	4,91
	2000	99,1	98,4	98,75	70,8	70,4	70,6		
	4000	87,6	85,5	86,55	61,3	61,8	61,55		
<b>Total Rata-Rata</b>				<b>91,10</b>			<b>62,67</b>		
D	500	83,6	85,8	84,7	56,7	56,8	56,75	27,18	9,09
	2000	83,6	85,8	84,7	56,7	56,8	56,75		
	4000	85,4	84,2	84,8	58,7	59,6	59,15		
<b>Total Rata-Rata</b>				<b>84,73</b>			<b>57,55</b>		

Perhitungan reduksi akustik dilakukan dengan membandingkan selisih intensitas suara antara bagian luar dan dalam batako. Variasi A digunakan sebagai kontrol, sedangkan variasi B dianalisis untuk mengetahui peningkatan kemampuan peredaman suara berdasarkan nilai selisih intensitas ( $\Delta I$ ).

- a) Rata-Rata Intensitas Dalam Variasi B (500 Hz)

$$I_{dalam} = \frac{(87 + 87,5)}{2}$$

$$= 87,25$$

- b) Rata-Rata Intensitas Luar Variasi B (500 Hz)

$$I_{dalam} = \frac{(57,1 + 56,8)}{2}$$

$$= 56,95$$

- c) Selisih Intensitas  $\Delta I$  Variasi B (500 Hz)

$$\begin{aligned}\Delta I &= 87,25 - 56,95 \\ &= 30,30\end{aligned}$$

- d) Total Rata-Rata Intensitas Variasi B

$$\begin{aligned}I_{dalam} &= \frac{(87,25 + 97,3 + 89,05)}{3} \\ &= 91,20\end{aligned}$$

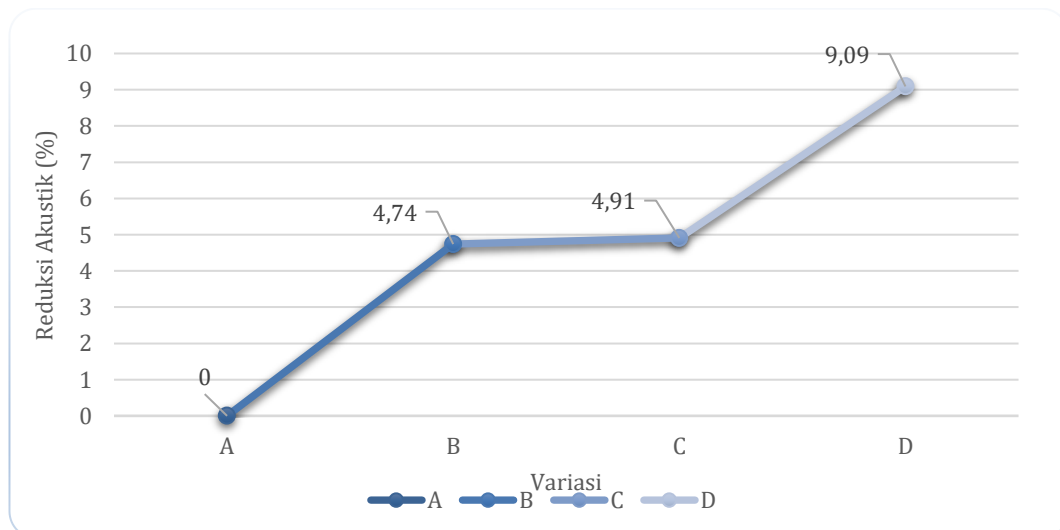
$$\begin{aligned}I_{luar} &= \frac{(56,95 + 69,6 + 61,6)}{3} \\ &= 62,72\end{aligned}$$

- e) Selisih Intensitas Total Variasi B

$$\begin{aligned}\Delta I_A &= 94,82 - 64,92 \\ &= 29,90\end{aligned}$$

- f) Reduksi Akustik Variasi B terhadap A

$$\begin{aligned}\text{Reduksi (\%)} &= \left( \frac{(\Delta I_A - \Delta I_B)}{\Delta I_A} \right) \times 100 \\ &= \left( \frac{(29,90 - 28,48)}{29,90} \right) \times 100 \\ &= \left( \frac{1,42}{29,90} \right) \times 100 \\ &= 4,74 \%\end{aligned}$$



**Gambar 4. 7** Grafik Hasil Pengujian Akustik Batako Beton Pracetak

Berdasarkan hasil pengujian akustik batako beton pracetak pada variasi frekuensi 500 Hz, 2000 Hz, dan 4000 Hz, diperoleh perbedaan nilai intensitas suara antara sisi luar dan sisi dalam pada setiap variasi campuran. Analisis dilakukan dengan membandingkan setiap variasi terhadap variasi A (0%:0%) sebagai kontrol. Variasi A memiliki nilai selisih intensitas suara ( $\Delta I$ ) sebesar 29,90 dB dengan nilai reduksi 0%.

Pada variasi B (5%:2%), nilai  $\Delta I$  sebesar 28,48 dB dengan persentase reduksi sebesar 4,74%. Selanjutnya, variasi C (10%:3%) menunjukkan  $\Delta I$  sebesar 28,43 dB dengan reduksi 4,91%, sedangkan variasi D (15%:5%) memiliki  $\Delta I$  sebesar 27,18 dB dengan reduksi tertinggi yaitu 9,09%.

Hasil tersebut menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan kemampuan batako dalam meredam suara seiring dengan bertambahnya proporsi cangkang kerang *Anadara granosa* dan *rockwool* dalam campuran. Semakin besar persentase reduksi yang dihasilkan, semakin efektif material dalam menurunkan intensitas suara yang diteruskan ke sisi dalam. Namun demikian, peningkatan pada variasi B dan C terlihat relatif kecil dibandingkan variasi D, sehingga menunjukkan bahwa peningkatan kinerja akustik tidak selalu bersifat linier terhadap penambahan material.

Fenomena ini dapat dijelaskan melalui mekanisme penyerapan gelombang suara pada material berpori. Penambahan *rockwool* sebagai material berserat dan berongga menyebabkan terbentuknya struktur internal yang mampu menyerap dan mendisipasikan energi gelombang suara menjadi energi panas. Namun pada kadar rendah hingga menengah (variasi B dan C), distribusi pori dan serat dalam matriks beton belum terbentuk secara optimal, sehingga peningkatan kemampuan redaman suara belum signifikan. Pada variasi D, jumlah *rockwool* yang lebih besar menghasilkan struktur yang lebih efektif dalam menyerap energi bunyi, sehingga terjadi peningkatan reduksi yang lebih jelas.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Renaldi Fikri Arsa dan R. Grenny Sudarmawan (2022) yang menunjukkan bahwa material berpori seperti *rockwool* memiliki kemampuan peredaman suara yang semakin baik seiring dengan peningkatan ketebalan atau jumlah material. Selain itu, penelitian Hemmati et al.

(2024) juga menyatakan bahwa penambahan *rockwool* pada material berbasis semen mampu meningkatkan kemampuan absorpsi suara akibat struktur serat dan pori yang mendisipasikan energi gelombang bunyi.

Di sisi lain, hasil pengujian juga menunjukkan bahwa material mampu bekerja pada rentang frekuensi rendah hingga tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa batako dengan penambahan *rockwool* memiliki potensi sebagai material peredam suara pada berbagai kondisi frekuensi. Namun demikian, pengujian yang dilakukan masih memiliki keterbatasan, terutama pada kondisi ruang uji yang belum sepenuhnya kedap suara, sehingga kemungkinan masih terdapat pengaruh dari lingkungan sekitar terhadap hasil pengukuran intensitas suara.

Secara keseluruhan, penambahan cangkang kerang *Anadara granosa* dan *rockwool* memberikan pengaruh terhadap peningkatan kinerja akustik batako beton pracetak. Peningkatan ini berkaitan dengan terbentuknya struktur berpori dan berserat dalam material yang mampu menyerap energi gelombang suara. Meskipun peningkatan pada beberapa variasi belum signifikan, tren yang dihasilkan tetap menunjukkan hubungan positif antara penambahan material dan kemampuan redaman suara, sehingga material memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai elemen dinding dengan fungsi akustik tambahan.

#### **4.6 Analisis Biaya Batako Beton Pracetak**

Analisis biaya pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui serta membandingkan nilai ekonomis produksi batako beton pracetak pada setiap variasi campuran yang menggunakan cangkang kerang *Anadara granosa* dan *rockwool*. Perhitungan biaya difokuskan pada komponen material penyusun batako, baik dalam satuan per buah maupun dikonversikan ke dalam kebutuhan per m<sup>2</sup> pasangan dinding. Data harga material utama seperti semen, agregat halus, dan agregat kasar mengacu pada Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Kota Semarang Tahun 2025 Edisi II dengan satuan pembelian per kg. Sementara itu, untuk material tambahan berupa cangkang kerang *Anadara granosa* dan *rockwool*, data diperoleh secara langsung dari pengelola bank sampah di Kabupaten Takalar, Kecamatan Galesong. Analisis ini tidak memasukkan komponen biaya tenaga kerja, peralatan,

maupun biaya operasional lainnya, sehingga hasil yang diperoleh difokuskan pada perbandingan efisiensi biaya material dari masing-masing variasi campuran yang digunakan.

### 1. Variasi A

Batako beton pracetak variasi A dikategorikan sebagai batako beton pracetak control yaitu menggunakan material pokok tanpa campuran bahan apapun. Analisa biaya untuk pembuatan batako beton pracetak variasi A seperti Tabel 4.26 berikut.

**Tabel 4. 26** Analisa Biaya Variasi A Batako Beton Pracetak

No	Bahan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
1	Pasir	4,355	kg	Rp 276	Rp 1.202
2	Kerikil	4,986	kg	Rp 265	Rp 1.321
3	Semen	1,284	kg	Rp 1.411	Rp 1.812
<b>Total Biaya / Batako Beton Pracetak</b>					<b>Rp 4.335</b>
<b>Total Biaya / Batako Beton Pracetak 1 m2</b>					<b>Rp 99.705</b>

### 2. Variasi B

Batako beton pracetak variasi B merupakan pengembangan dari batako kontrol dengan penambahan material sebagai bahan substitusi dan bahan tambahan. Pada variasi ini digunakan cangkang kerang *Anadara granosa* sebagai substitusi sebagian material penyusun serta penambahan *rockwool* sebagai upaya meningkatkan kinerja termal dan akustik. Analisa biaya untuk pembuatan batako beton pracetak variasi B disajikan pada Tabel 4.27 berikut.

**Tabel 4. 27** Analisa Biaya Variasi B Batako Beton Pracetak

No	Bahan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
1	Pasir	4,355	kg	Rp 276	Rp 1.202
2	Kerikil	4,986	kg	Rp 265	Rp 1.321
3	Semen	1,22	kg	Rp 1.411	Rp 1.721
4	Kerang <i>Anadara</i>	0,064	kg	Rp 1.250	Rp 80
5	<i>Rockwool</i>	0,06	kg	Rp 5.000	Rp 300
<b>Total Biaya / Batako Beton Pracetak</b>					<b>Rp 4.625</b>
<b>Total Biaya / Batako Beton Pracetak 1 m2</b>					<b>Rp 106.368</b>

### 3. Variasi C

Batako beton pracetak variasi C merupakan variasi lanjutan dengan peningkatan persentase penggunaan material dibandingkan variasi sebelumnya. Penambahan cangkang kerang *Anadara granosa* sebagai bahan substitusi serta *rockwool* sebagai bahan tambahan dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap perubahan

karakteristik batako, baik dari segi kekuatan maupun kinerja termal dan akustik. Analisa biaya pembuatan batako beton pracetak variasi C dapat dilihat pada Tabel 4.28 berikut.

**Tabel 4. 28** Analisa Biaya Variasi C Batako Beton Pracetak

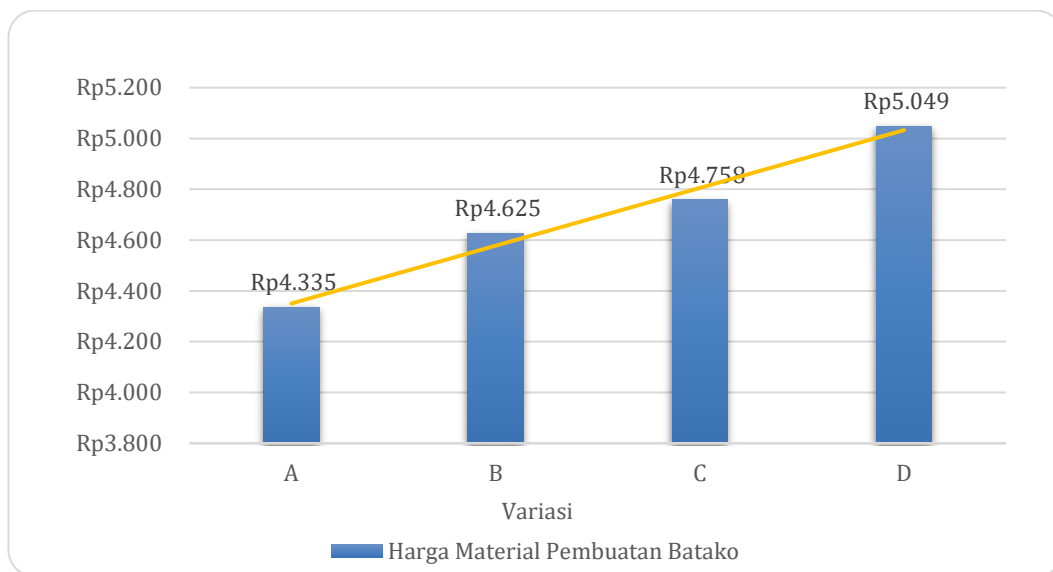
No	Bahan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
1	Pasir	4,355	kg	Rp 276	Rp 1.202
2	Kerikil	4,986	kg	Rp 265	Rp 1.321
3	Semen	1,155	kg	Rp 1.411	Rp 1.630
4	Kerang <i>Anadara</i>	0,128	kg	Rp 1.250	Rp 160
5	<i>Rockwool</i>	0,089	kg	Rp 5.000	Rp 445
<b>Total Biaya / Batako Beton Pracetak</b>					<b>Rp 4.758</b>
<b>Total Biaya / Batako Beton Pracetak 1 m2</b>					<b>Rp 109.433</b>

#### 4. Variasi D

Batako beton pracetak variasi D merupakan variasi dengan komposisi material tambahan paling tinggi dalam penelitian ini. Penggunaan cangkang kerang *Anadara granosa* sebagai bahan substitusi dan *rockwool* sebagai bahan tambahan dilakukan dengan persentase yang lebih besar dibandingkan variasi lainnya. Variasi ini bertujuan untuk melihat batas pengaruh penambahan material terhadap kinerja batako, khususnya dalam aspek kuat tekan, serta kemampuan insulasi termal dan akustik. Analisa biaya pembuatan batako beton pracetak variasi D disajikan pada Tabel 4.29 berikut.

**Tabel 4. 29** Analisa Biaya Variasi D Batako Beton Pracetak

No	Bahan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
1	Pasir	4,355	kg	Rp 276	Rp 1.202
2	Kerikil	4,986	kg	Rp 265	Rp 1.321
3	Semen	1,091	kg	Rp 1.411	Rp 1.539
4	Kerang <i>Anadara</i>	0,193	kg	Rp 1.250	Rp 241
5	<i>Rockwool</i>	0,149	kg	Rp 5.000	Rp 745
<b>Total Biaya / Batako Beton Pracetak</b>					<b>Rp 5.049</b>
<b>Total Biaya / Batako Beton Pracetak 1 m2</b>					<b>Rp 116.125</b>



**Gambar 4. 8** Grafik Analisa Biaya Material Batako Beton Pracetak

Berdasarkan hasil analisis biaya material batako beton pracetak pada setiap variasi, terlihat adanya kecenderungan peningkatan biaya produksi seiring dengan bertambahnya persentase penggunaan material tambahan berupa cangkang kerang *Anadara granosa* dan *rockwool*. Variasi A sebagai kontrol memiliki biaya produksi paling rendah yaitu sebesar Rp4.335 per unit, kemudian meningkat pada variasi B menjadi Rp4.625, variasi C sebesar Rp4.758, dan mencapai nilai tertinggi pada variasi D sebesar Rp5.049 per unit.

Pola kenaikan ini menunjukkan bahwa penambahan material, khususnya *rockwool*, memberikan kontribusi langsung terhadap peningkatan biaya produksi karena karakteristiknya sebagai material industri dengan harga relatif lebih tinggi dibandingkan bahan konvensional. Selain itu, komposisi campuran yang semakin kompleks juga turut mempengaruhi kebutuhan material dan proses produksi.

Namun demikian, jika dikaitkan dengan kinerja yang dihasilkan, peningkatan biaya tersebut masih berada dalam rentang yang proporsional. Batako yang dihasilkan tidak hanya memenuhi standar kuat tekan mutu I, tetapi juga menunjukkan peningkatan signifikan pada aspek insulasi termal dan redaman akustik. Hal ini memberikan nilai tambah fungsional yang tidak dimiliki oleh batako konvensional pada umumnya.

Jika dibandingkan dengan produk batako di pasaran yang umumnya hanya berorientasi pada kekuatan dan memiliki mutu yang bervariasi, batako hasil penelitian ini menunjukkan kombinasi antara mutu yang relatif tinggi dan fungsi tambahan sebagai material insulasi. Dengan demikian, secara teknis dan ekonomis, peningkatan biaya yang terjadi dapat dianggap sebanding dengan peningkatan performa yang ditawarkan.

Secara keseluruhan, hasil analisis biaya menunjukkan bahwa penggunaan cangkang kerang *Anadara granosa* dan *rockwool* masih layak dipertimbangkan sebagai alternatif material batako inovatif, terutama pada aplikasi yang membutuhkan keseimbangan antara kekuatan, efisiensi, dan peningkatan kenyamanan termal serta akustik bangunan.

#### 4.7 Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang diperoleh disajikan dalam rekapitulasi untuk memudahkan pemahaman terhadap penelitian ini. Rekapitulasi hasil pengujian sebagai berikut pada Tabel 4.30

**Tabel 4. 30** Rekapitulasi Hasil Penelitian Batako Beton Pracetak

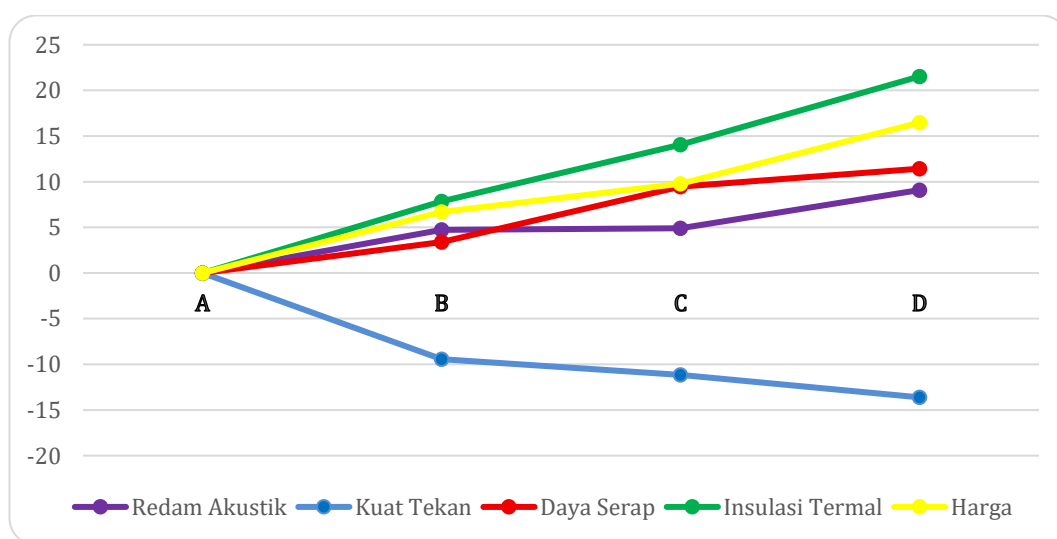
Jenis Pengujian	Variasi Batako Beton Pracetak			
	A (0%:0%)	B (5%:2%)	C (10%:3%)	D (15%:5%)
<b>Kuat Tekan (MPa)</b>	13,88	12,57	12,33	11,99
<b>Daya Serap Air (%)</b>	0,56	0,75	1,09	1,2
<b>Insulasi Termal (%)</b>	0	7,84	14,07	21,53
<b>Redam Akustik (%)</b>	0	4,74	4,91	9,09
<b>Harga Material (Rp)</b>	4.335	4.625	4.758	5.049

Berdasarkan rekapitulasi pada Tabel 4.30, terlihat adanya kecenderungan perubahan kinerja batako seiring dengan meningkatnya persentase substitusi cangkang kerang *Anadara granosa* dan penambahan *rockwool*. Perubahan tersebut ditunjukkan melalui nilai persentase pada masing-masing parameter pengujian, baik berupa penurunan kuat tekan maupun peningkatan daya serap, insulasi termal, dan redaman akustik. Untuk memperoleh gambaran yang lebih terukur terhadap besarnya pengaruh variasi campuran, dilakukan analisis lanjutan berupa

perhitungan persentase perubahan terhadap variasi kontrol (A) sebagai kondisi awal. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi kecenderungan hubungan antara komposisi material dengan kinerja batako secara lebih sistematis, sehingga dapat diketahui batas optimal pemanfaatan material tambahan dalam penelitian ini. Hasil perhitungan persentase perubahan tersebut disajikan secara rinci pada Tabel 4.31 sebagai dasar dalam pembahasan selanjutnya.

**Tabel 4. 31** Rekapitulasi Persentase Reduksi Penelitian Batako Beton Pracetak

Jenis Pengujian	Variasi Batako Beton Pracetak			
	A (0%:0%)	B (5%:2%)	C (10%:3%)	D (15%:5%)
Kuat Tekan (%)	0	-9,44	-11,17	-13,62
Daya Serap Air (%)	0	3,39	9,46	11,43
Insulasi Termal (%)	0	7,84	14,07	21,53
Redam Akustik (%)	0	4,74	4,91	9,09
Harga Material (%)	0	6,69	9,76	16,47



**Gambar 4. 9** Grafik Hasil Penelitian Batako Beton Pracetak

Berdasarkan rekapitulasi hasil pengujian, penggunaan material substitusi cangkang kerang *Anadara granosa* dan penambahan *rockwool* dalam batako beton pracetak menunjukkan adanya hubungan yang saling berkaitan antar parameter yang diuji, meliputi kuat tekan, daya serap air, kinerja termal, kinerja akustik, serta biaya produksi. Nilai kuat tekan berada pada kisaran 11,99–13,88 MPa, dengan kecenderungan menurun seiring meningkatnya proporsi material tambahan.

Meskipun demikian, seluruh variasi masih memenuhi persyaratan kuat tekan minimum batako mutu I berdasarkan SNI 03-0349-1989, sehingga tetap layak digunakan sebagai material pasangan dinding.

Jika dibandingkan dengan material dinding konvensional yang umum digunakan di Indonesia, seperti batako manual maupun bata merah, nilai kuat tekan yang dihasilkan dalam penelitian ini tergolong relatif tinggi dan lebih konsisten. Pada praktik lapangan, batako konvensional umumnya memiliki mutu yang bervariasi dan seringkali belum mencapai kategori mutu I secara stabil akibat proses produksi yang tidak terkontrol. Oleh karena itu, hasil penelitian ini menunjukkan potensi pengembangan batako dengan mutu yang lebih terstandarisasi dan memiliki nilai tambah dibandingkan produk konvensional.

Di sisi lain, nilai daya serap air menunjukkan tren peningkatan dari 0,56% hingga 1,20%, yang mengindikasikan adanya peningkatan porositas dalam struktur material. Kondisi ini memperlihatkan hubungan langsung antara meningkatnya porositas dengan penurunan kekuatan mekanis. Namun, peningkatan porositas tersebut tidak hanya berdampak negatif, melainkan juga memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan kinerja insulasi termal dan redaman akustik.

Peningkatan performa termal yang ditunjukkan oleh nilai reduksi hingga 21,53% serta peningkatan redaman akustik hingga 9,09% menunjukkan bahwa struktur material yang lebih berpori mampu menghambat perpindahan panas dan menyerap energi gelombang suara secara lebih efektif. Hal ini sejalan dengan penelitian Hemmati et al. (2024) yang menyatakan bahwa material berbasis rockwool dengan struktur berpori memiliki kemampuan untuk menurunkan konduktivitas termal sekaligus meningkatkan kemampuan absorpsi suara.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan adanya fenomena *trade-off* antar parameter, di mana peningkatan kinerja termal dan akustik diperoleh melalui konsekuensi penurunan kuat tekan akibat meningkatnya porositas material. Kondisi ini menegaskan bahwa tidak seluruh parameter dapat dioptimalkan secara bersamaan, melainkan perlu dicapai keseimbangan sesuai dengan kebutuhan fungsi material.

Dari sisi ekonomi, biaya produksi batako beton pracetak menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya variasi campuran. Biaya terendah terdapat pada variasi A sebesar Rp4.335 per unit, kemudian meningkat pada variasi B sebesar Rp4.625, variasi C sebesar Rp4.758, dan mencapai nilai tertinggi pada variasi D sebesar Rp5.049. Kenaikan biaya ini dipengaruhi oleh penambahan material seperti rockwool yang memiliki harga relatif lebih tinggi dibandingkan material konvensional. Meskipun demikian, selisih biaya antar variasi masih berada dalam rentang yang relatif terkendali jika dibandingkan dengan peningkatan kinerja yang diperoleh.

Secara keseluruhan, hubungan antar parameter dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan cangkang kerang *Anadara granosa* dan *rockwool* menghasilkan material dengan karakteristik multifungsi, di mana aspek kekuatan, porositas, serta kinerja termal dan akustik saling berinteraksi. Oleh karena itu, pemilihan komposisi campuran perlu mempertimbangkan keseimbangan antar parameter tersebut agar material yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan struktural sekaligus memberikan nilai tambah dari segi kenyamanan bangunan.

Secara aplikatif, karakteristik tersebut menunjukkan bahwa batako yang dikembangkan berpotensi digunakan sebagai material dinding yang tidak hanya berfungsi sebagai elemen pembatas, tetapi juga memberikan kontribusi terhadap kenyamanan ruang. Penggunaan material ini dapat dipertimbangkan pada dinding partisi, dinding pembatas antar ruang, maupun bangunan dengan pola ruang berulang yang memerlukan pengendalian suhu dan suara secara bersamaan. Selain itu, dengan kuat tekan yang telah memenuhi mutu I, material ini juga memiliki potensi untuk digunakan pada bangunan semi permanen atau hunian komunal, seperti barak atau ruang dengan fungsi serupa, dengan tetap mempertimbangkan kebutuhan struktural dan efisiensi biaya.