

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Penelitian mengenai bata ringan ini menggunakan bahan substitusi abu tempurung kelapa yang diuraikan dalam bab ini. Pengujian material, pembuatan spesimen uji, dan pengujian sampel spesimen uji terutama pengujian densitas, daya serap, kekuatan tekan, dan pengujian suhu termasuk dalam hasil dan pembahasan studi ini. Tabel 4.1 mencantumkan jumlah abu cangkang kelapa yang digunakan dalam setiap versi bata ringan.

Tabel 4. 1 Jumlah penggunaan abu tempurung kelapa

Substitusi bahan	Variasi 1 (0%)	Variasi 2 (5%)	Variasi 3 (10%)	Variasi 4 (15%)	Variasi 5 (20%)
Abu Tempurung Kelapa	0 gram	165 gram	330 gram	495 gram	660 gram

4.1 Hasil Pengolahan Abu Tempurung Kelapa

Abu tempurung kelapa yang digunakan sebagai bahan substitusi semen pada bata ringan harus diolah terlebih dahulu dan melalui proses pengamatan visual harus dalam keadaan kering dan tidak ada gumpalan, setelah itu dilakukan penyaringan dimana abu tempurung kelapa yang lolos saringan berukuran 0,075 yang digunakan sebagai bahan substitusi.

4.2 Hasil Pengujian Material

Material yang akan digunakan dalam bata ringan ini harus diuji untuk menentukan apakah layak untuk digunakan dalam campuran pembuatan bata ringan. Langkah pertama dalam menguji sifat-sifat material ini adalah mengevaluasi pasir, yang meliputi penentuan berat jenis, kadar air, dan gradasi agregat. Setelah itu, pengamatan visual digunakan untuk pengujian air, dan pengujian semen dilakukan dengan memeriksa keadaan bubuk semen dan kemasan semen.

4.2.1 Pengujian Pasir

Tujuan uji pasir ini adalah untuk menentukan jenis pasir yang akan digunakan dalam penelitian ini untuk pembuatan bata ringan. Pasir memiliki fungsi penting yang dapat mempengaruhi kualitas bata ringan secara signifikan, oleh karena itu uji karakteristik ini perlu dilakukan. Beberapa pengujian yang harus dilakukan diantaranya adalah berat jenis pasir, kadar air, dan gradasi pasir.

Pada pemeriksaan gradasi pasir, digunakan ayakan untuk memastikan ukuran butiran pasir. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mendapatkan persentase butiran pasir tiap ukuran butiran. Presentasi tabel dari hasil tersebut disediakan. Dengan menggunakan ukuran ayakan No. 4 (4,75) mm, No. 8 (2,36 mm), No. 16 (1,19 mm), No. 30 (0,595 mm), No. 50 (0,297 mm), No. 100 (0,149 mm), No. 200 (0,075 mm), dan pan, klasifikasi ini didasarkan pada tingkat butiran pasir. Gradasi butiran diperiksa dengan memisahkan pasir yang tertahan dari setiap ayakan dan menghitung persentase yang dibutuhkan untuk mencapai gradasi butiran yang sesuai dengan spesifikasi mortar busa.

Tabel 4. 2 Kebutuhan agregat tertahan tiap saringan

No.	Ukuran Ayakan (ASTM)		% Berat Lolos Ayakan	% Kebutuhan Tertahan Ayakan
	Inci / No	mm		
1	No. 4	4,76	100	0
2	No. 8	2,36	80	20
3	No. 16	1,19	50	30
4	No. 30	0,595	25	25
5	No. 50	0,297	11	14
6	No. 100	0,149	4	7
7	No. 200	0,075	0	4

4.2.2 Pengujian Abu Tempurung Kelapa

Tujuan dari pengujian abu tempurung kelapa ini adalah untuk mengidentifikasi sifat-sifat abu yang digunakan untuk membuat batu bata ringan. Karena abu tempurung kelapa memegang peranan penting dan dapat mempengaruhi kualitas bata ringan secara signifikan, maka uji karakteristik ini diperlukan. Di antara pengujian yang dilakukan adalah berat jenis.

A. Pemeriksaan Berat Jenis Abu Tempurung Kelapa

Tabel 4. 3 Berat jenis abu tempurung kelapa

No.	Langkah Pengujian				Hasil Perhitungan
1.	No. Pisknometer		Satuan	1	2
2.	Berat Pisknometer Kosong	W1	gr	39	49
3.	Berat Pisknometer + Aquades	W2	gr	139	149
4.	Suhu Pisknometer + Aquades	t	°C	28,3	28,4
5.	Koreksi suhu Pisknometer + Aquades	T1	°C	1,00382	1,00384
6.	Harga Air Pisknometer	$WT=(W2-W1)*T1$	gr	100,382	100,384
7.	Berat Pisknometer + ATK	W3	gr	58	70
8.	Berat Pisknometer + ATK + Aquades	W4	gr	146	157
9.	Suhu Pisknometer + Aquades + ATK	t	°C	29,8	29,7
10.	Koreksi Suhu Pisknometer + Aquades + ATK	T2	°C	1,00422	1,00419
11.	Berat Jenis	$GS=\frac{W2-W1}{W1-(W4-W3)T2} \times 100\%$		1,58	1,61
12.	Berat Jenis Rata-Rata			1,60	

Berdasarkan hasil uji didapatkan abu tempurung kelapa dengan hasil uji berat jenis 1.60 gr/cm^3 .

4.2.3 Pengujian *Foam Agent*

Untuk menentukan apakah *foam agent* siap digunakan untuk pencampuran mortar atau tidak, dilakukan pengujian terhadap *foam agent* tersebut. Bahan yang tidak mengandung terlalu banyak udara atau air merupakan *foam agent* yang sangat baik. Soeyandono, Jimmy Restu (2018). Dalam Pedoman Spesifikasi Material Ringan Mortar Busa yang diterbitkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), nilai densitas busa yang berkisar antara $0,05 \text{ t/m}^3$ hingga $0,085 \text{ t/m}^3$ merupakan poin referensi yang penting. Dalam penelitian ini diambil nilai densitas *foam agent* sebesar $0,07 \text{ t/m}^3$.

4.2.4 Pengujian Semen

Dalam penelitian ini menggunakan semen dengan merek gresik. Penelitian ini hanya melakukan pengujian semen secara visualnya saja. Semen diuji secara visual, khususnya dengan memeriksa kondisi kemasan semen. Saat menggunakan semen, kemasannya harus tertutup rapat, tidak boleh terbuka, dan bebas sobek. Untuk menjaga kualitas pabrik, kemasan semen harus dalam keadaan kering. Untuk pengujian kedua, yaitu dengan memeriksa butiran semen, butiran semen harus kering, longgar, dan tidak padat.

4.3 Hasil Pengujian Benda Uji

4.3.1 Massa Jenis (Densitas)

Dalam pengujian massa jenis, dalam penelitian ini menggunakan 3 benda uji setiap variasi bata ringan dengan dengan abu tempurung kelapa sebagai bahan substitusi semen, dengan jumlah kombinasi yang bervariasi pada setiap variasi. Setiap sampel harus dipastikan bebas dari debu dan kotoran. Volume benda uji kemudian dihitung dengan mengukur panjang, lebar, dan ketebalannya setelah mencapai berat konstan. Hasil uji massa jenis (densitas) untuk setiap benda uji tercantum di bawah ini.

A. Variasi 1

Tabel 4. 4 Hasil pengujian densitas variasi 1

Variasi 1 (Substitusi Abu Tempurung Kelapa 0%)			
Sample Benda Uji	Berat Kering (kg)	Volume (m ³)	Berat Jenis (Kg/m ³)
1	8,600	0,012	716,667
2	8,620	0,012	718,333
3	8,675	0,012	722,916
Rata-Rata			719,305

Hasil pengujian densitas bata ringan menunjukkan bahwa pada variasi 1 dengan 0% substitusi abu tempurung kelapa memenuhi spesifikasi SNI 8640-2018 dengan ketentuan bata nonstruktural kelas AII memiliki nilai densitas 600-800 kg/m³.

B. Variasi 2

Tabel 4. 5 Hasil pengujian densitas variasi 2

Variasi 2 (Substitusi Abu Tempurung Kelapa 5%)			
Sample Benda Uji	Berat Kering (kg)	Volume (m ³)	Berat Jenis (Kg/m ³)
1	8,910	0,012	742,5
2	9,580	0,012	798,333
3	9,340	0,012	778,333
Rata-Rata			773,055

Hasil pengujian densitas bata ringan menunjukkan bahwa pada variasi 2 dengan 5% substitusi abu tempurung kelapa memenuhi spesifikasi SNI 8640-2018 dengan ketentuan bata nonstruktural kelas AII memiliki nilai densitas 600-800 kg/m³.

C. Variasi 3

Tabel 4. 6 Hasil pengujian densitas variasi 3

Variasi 3 (Substitusi Abu Tempurung Kelapa 10%)			
Sample Benda Uji	Berat Kering (kg)	Volume (m ³)	Berat Jenis (Kg/m ³)
1	8,725	0,012	727,083
2	8,855	0,012	737,916
3	8,880	0,012	740
Rata-Rata			735

Hasil pengujian densitas bata ringan menunjukkan bahwa pada variasi 3 dengan 10% substitusi abu tempurung kelapa memenuhi spesifikasi SNI 8640-2018 dengan ketentuan bata nonstruktural kelas AII memiliki nilai densitas 600-800 kg/m³.

D. Variasi 4

Tabel 4. 7 Hasil pengujian densitas variasi 4

Variasi 4 (Substitusi Abu Tempurung Kelapa 15%)			
Sample Benda Uji	Berat Kering (kg)	Volume (m ³)	Berat Jenis (Kg/m ³)
1	8,315	0,012	692,916
2	8,325	0,012	693,750
3	8,390	0,012	699,166
Rata-Rata			695,277

Hasil pengujian densitas bata ringan menunjukkan bahwa pada variasi 4 dengan 15% substitusi abu tempurung kelapa memenuhi spesifikasi SNI 8640-2018 dengan ketentuan bata nonstruktural kelas AII memiliki nilai densitas 600-800 kg/m³.

E. Variasi 5

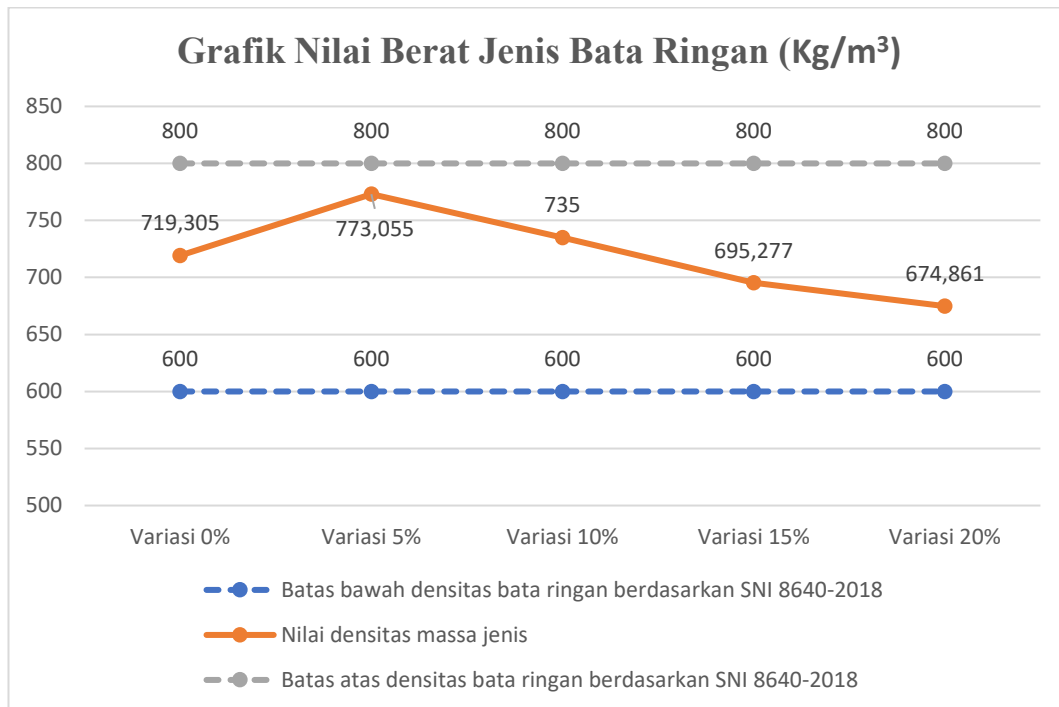
Tabel 4. 8 Hasil pengujian densitas variasi 5

Variasi 5 (Substitusi Abu Tempurung Kelapa 20%)			
Sample Benda Uji	Berat Kering (kg)	Volume (m ³)	Berat Jenis (Kg/m ³)
1	7,785	0,012	648,75
2	8,245	0,012	687,083
3	8,265	0,012	688,75
Rata-Rata			674,861

Hasil pengujian densitas bata ringan menunjukkan bahwa pada variasi 5 dengan 20% substitusi abu tempurung kelapa memenuhi spesifikasi SNI 8640-2018 dengan ketentuan bata nonstruktural kelas AII memiliki nilai densitas 600-800 kg/m³.

Tabel 4. 9 Hasil rekapitulasi pengujian densitas

Tipe Variasi	Berat Jenis Rata-Rata (kg/m ³)	Standar SNI 8640-2018 (600-800 kg/m ³)
0%	719,305	memenuhi
5%	773,055	memenuhi
10%	735	memenuhi
15%	695,277	memenuhi
20%	674,861	memenuhi



Gambar 4. 1 Grafik nilai hasil pengujian densitas bata ringan

Grafik ini menampilkan hasil uji densitas. Diketahui bahwa penambahan campuran abu tempurung kelapa ke dalam substitusi semen menyebabkan peningkatan dan penurunan densitas, sesuai dengan hasil uji. Pada nilai densitas 773,055 kg/m³, variasi dengan penggantian 5% abu tempurung kelapa menunjukkan kepadatan paling tinggi diantara semua variasi. Setelah itu, kepadatan menurun hingga variasi 20%, dengan nilai densitas sebesar 674,861 kg/m³, yang merupakan nilai densitas terendah. Hal ini dikarenakan kandungan senyawa SiO₂ pada abu tempurung kelapa dapat menaikkan densitas pada bata ringan tetapi dengan substitusi terlalu banyak dapat menurunkan densitas dikarenakan semen ketika digunakan dengan jumlah yang banyak, dimana semen memiliki sifat mengikat yang lebih baik daripada abu tempurung kelapa (Hambali, dkk 2013). Dapat diketahui bahwa semua jenis bata ringan, termasuk yang dibuat dengan abu tempurung kelapa sebagai substitusi semen, memenuhi standar SNI 8640-2018. Berdasarkan hasil uji densitas bata ringan, bata ringan yang menggunakan abu tempurung kelapa sebagai substitusi semen dapat dikategorikan sebagai bata ringan dengan densitas rendah atau 600–800 kg/m³.

4.3.2 Daya Serap Air

Pada pengujian bata ringan dengan menggunakan bahan substitusi abu tempurung kelapa terhadap daya serap air (porositas) menggunakan benda uji yang telah berumur 14 hari, bertujuan untuk mengetahui indikasi awal kekuatan benda uji. Dengan menggunakan benda uji berjumlah 3 sampel dalam setiap 1 variasi.

A. Variasi 1

Tabel 4. 10 Hasil pengujian daya serap variasi 1

Variasi 1 (Substitusi Abu Tempurung Kelapa 0%)			
Sample Benda Uji	Bia (Bobot Isi Air)	Bik (Bobot Isi Kering)	Nilai Daya Serap Air (Porositas)
1.	0,825	0,675	18,18%
2.	0,870	0,740	18,68%
3.	0,750	0,690	17,86%
Rata-rata			18,24%

Bata non-struktural tipe IIA (untuk penggunaan di luar ruangan) memiliki tingkat penyerapan air sebesar 18,24% atau kurang dari 25%, sehingga hasil uji memenuhi standar SNI 8640-2018.

B. Variasi 2

Tabel 4. 11 Hasil pengujian daya serap variasi 2

Variasi 2 (Substitusi Abu Tempurung Kelapa 5%)			
Sample Benda Uji	Bia (Bobot Isi Air)	Bik (Bobot Isi Kering)	Nilai Daya Serap Air (Porositas)
1.	0,740	0,630	14,86%
2.	0,780	0,665	14,74%
3.	0,730	0,630	13,70%
Rata-rata			14,44%

Bata non-struktural tipe IIA (untuk penggunaan di luar ruangan) memiliki tingkat penyerapan air sebesar 14,44% atau kurang dari 25%, sehingga hasil uji memenuhi standar SNI 8640-2018.

C. Variasi 3

Tabel 4. 12 Hasil pengujian daya serap variasi 3

Variasi 3 (Substitusi Abu Tempurung Kelapa 10%)			
Sample Benda Uji	Bia (Bobot Isi Air)	Bik (Bobot Isi Kering)	Nilai Daya Serap Air (Porositas)
1.	1,000	0,835	16,50%
2.	1,005	0,865	16,42%
3.	1,040	0,840	16,83%
Rata-rata			16,58%

Bata non-struktural tipe IIA (untuk penggunaan di luar ruangan) memiliki tingkat penyerapan air sebesar 16,58% atau kurang dari 25%, sehingga hasil uji memenuhi standar SNI 8640-2018.

D. Variasi 4

Tabel 4. 13 Hasil pengujian daya serap variasi 4

Variasi 4 (Substitusi Abu Tempurung Kelapa 15%)			
Sample Benda Uji	Bia (Bobot Isi Air)	Bik (Bobot Isi Kering)	Nilai Daya Serap Air (Porositas)
1.	1,070	0,850	20,56%
2.	1,030	0,825	19,90%
3.	1,080	0,850	21,30%
Rata-rata			20,59%

Bata non-struktural tipe IIA (untuk penggunaan di luar ruangan) memiliki tingkat penyerapan air sebesar 20,59% atau kurang dari 25%, sehingga hasil uji memenuhi standar SNI 8640-2018.

E. Variasi 5

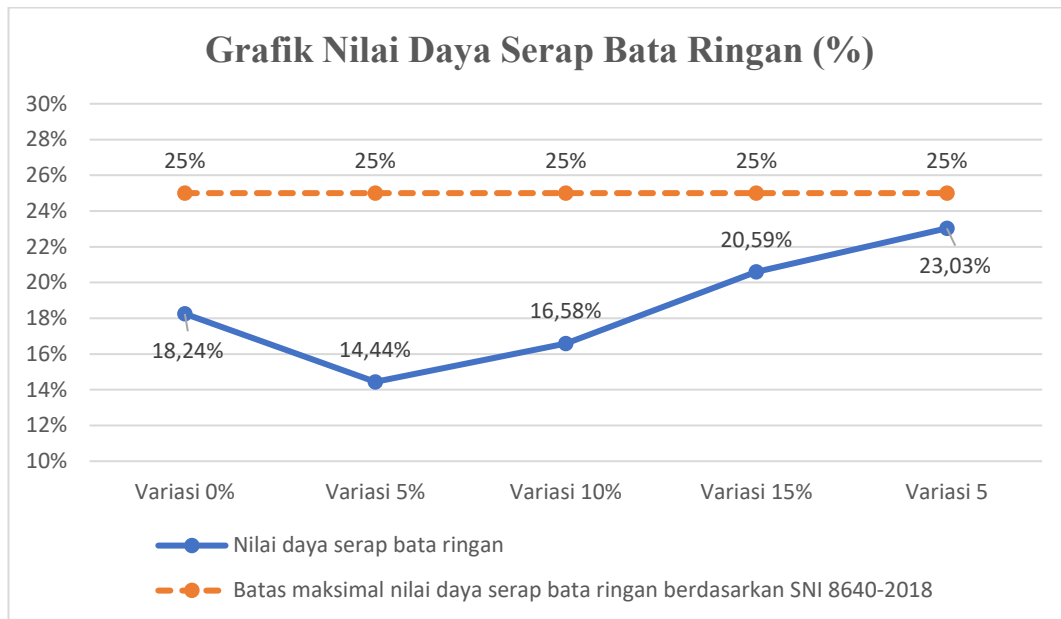
Tabel 4. 14 Hasil pengujian daya serap variasi 5

Variasi 5 (Substitusi Abu Tempurung Kelapa 20%)			
Sample Benda Uji	Bia (Bobot Isi Air)	Bik (Bobot Isi Kering)	Nilai Daya Serap Air (Porositas)
1.	1,010	0,770	23,76%
2.	1,080	0,845	21,76%
3.	1,040	0,795	23,56%
Rata-rata			23,03%

Bata non-struktural tipe IIA (untuk penggunaan di luar ruangan) memiliki tingkat penyerapan air sebesar 23,03% atau kurang dari 25%, sehingga hasil uji memenuhi standar SNI 8640-2018.

Tabel 4. 15 Hasil rekapitulasi pengujian daya serap

Tipe Variasi	Nilai Daya Serap	Nilai Daya Serap berdasarkan SNI 8640-2018 (<25%)
0%	18,24%	Memenuhi
5%	14,44%	Memenuhi
10%	16,58%	Memenuhi
15%	20,59%	Memenuhi
20%	23,03%	Memenuhi



Gambar 4. 2 Grafik nilai hasil pengujian daya serap bata ringan

Hasil uji penyerapan air pada grafik menunjukkan bahwa variasi 20% memiliki nilai uji penyerapan air tertinggi untuk bata ringan, yaitu 23,03%. Sedangkan, variasi 5% memiliki nilai penyerapan air terendah, hal ini dikarenakan kandungan senyawa CaO dan SiO₂ abu tempurung kelapa menyebabkan rendahnya porositas dan semakin tinggi kepadatan maka dari itu penyerapan air lebih rendah dari variasi lainnya. Hasil uji daya serap pada grafik menunjukkan bahwa variasi 20% memiliki nilai daya serap tertinggi pada semua variasi untuk bata ringan, yaitu 23,03%. Di sisi lain, variasi 5% memiliki nilai daya serap terendah dengan nilai daya serap, yaitu 14,44%. Grafik menunjukkan bahwa, dibandingkan dengan bata ringan konvensional atau variasi 0%, nilai daya serap bata ringan dengan variasi 5% mengalami penurunan, dan kemudian meningkat secara bertahap pada variasi 10% hingga 20%. Diketahui bahwa semua jenis bata ringan yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai daya serap di bawah 25%, yang sesuai dengan SNI 8640-2018. Berdasarkan penelitian ini, nilai daya serap bata ringan meningkat seiring dengan jumlah abu tempurung kelapa yang disubstitusikan. Nilai penyerapan air variasi bata ringan akan lebih rendah daripada bata ringan konvensional, meskipun demikian, jika proporsi abu tempurung kelapa berada pada tingkat yang tepat. Seperti yang ditunjukkan pada grafik, hal ini terjadi pada variasi

5%, di mana nilai penyerapan air adalah 14,44% untuk variasi 5% dan 18,24% untuk variasi 0%. Semakin sedikit kadar SiO_2 , semakin rendah daya serap air pada bata ringan. Kandungan SiO_2 yang berlebihan akan berikatan dengan CaO bebas yang Kemampuan bata ringan untuk menyerap air berkurang seiring dengan berkurangnya kadar SiO_2 . Kandungan SiO_2 yang berlebihan akan membentuk Ca(OH)_2 dengan mengikat CaO bebas dalam semen (Hambali, dkk 2013). Karena pembentukan rongga udara, kalsium hidroksida menurunkan densitas bata ringan. Selama periode perendaman sampel, air akan mengisi rongga-rongga udara tersebut. Ikatan kalsium hidroksida tidak terjadi dengan baik jika kadar SiO_2 terlalu tinggi atau terlalu rendah. Oleh karena itu, kapasitas penyerapan air bata ringan kembali meningkat pada komposisi di atas atau di bawah 5% SiO_2 (Hambali, dkk 2013).

Bata ringan menjadi lebih padat seiring peningkatan kandungan polietilen, yang mengurangi kemampuannya untuk menyerap air. Selain itu, karakteristik polietilen (plastik), Karena bersifat tahan air dan tidak larut dalam air pada suhu ruangan, hal ini mengurangi kemampuan bata ringan untuk menyerap air (Hambali, dkk 2013). Substitusi abu tempurung kelapa yang berlebihan, seperti pada variasi 10%, 15%, dan 20%, menyebabkan daya ikat bata ringan terus menurun. Sifat pozzolanik semen berkurang ketika mengandung jumlah abu tempurung kelapa yang berlebihan (Hambali, dkk 2013). Oleh karena itu, penelitian kami menunjukkan bahwa, ketika ditambahkan dalam proporsi yang tepat, abu tempurung kelapa dapat mengurangi daya serap bata ringan. Di sisi lain, daya serap akan terus meningkat jika persentase bahan pengganti terlalu tinggi.

4.3.3 Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan setelah benda uji berumur 14 hari. Pada pengujian kuat tekan Menggunakan 3 sampel untuk setiap variasi abu tempurung kelapa berdasarkan persentase yang ditentukan sebagai pengganti dalam pembuatan bata ringan. Benda uji dipotong menjadi ukuran 10x10x10 cm untuk pengujian kekuatan tekan. Berikut adalah data hasil pengujian kuat tekan pada benda uji bata ringan.

1. Variasi 1

Tabel 4. 16 Hasil pengujian kuat tekan variasi 1

Variasi 1 (Substitusi Abu Tempurung Kelapa 0%)						
Sampel Benda Uji	Dimensi			Luas Bidang Tekan (A)	Hasil Kuat Tekan Alat	Konversi
	p (cm)	l (cm)	t (cm)	cm ²	KN	MPa
1.	10	10	10	100	11	1,1
2.	10	10	10	100	10	1
3.	10	10	10	100	12	1,2
Rata-rata					11	1,1

Hasil analisis pengujian kuat tekan telah memenuhi Pedoman Spesifikasi Material Ringan Mortar Busa yang dikeluarkan oleh Kementerian PUPR, karena bata ringan memiliki nilai kuat tekan rata – rata 1,1 MPa.

2. Variasi 2

Tabel 4. 17 Hasil pengujian kuat tekan variasi 2

Variasi 2 (Substitusi Abu Tempurung Kelapa 5%)						
Sampel Benda Uji	Dimensi			Luas Bidang Tekan (A)	Hasil Kuat Tekan Alat	Konversi
	p (cm)	l (cm)	t (cm)	cm ²	KN	MPa
1.	10	10	10	100	12	1,2
2	10	10	10	100	13	1,3
3	10	10	10	100	13	1,3
Rata-rata					12,7	1,27

Hasil analisis pengujian kuat tekan telah memenuhi Pedoman Spesifikasi Material Ringan Mortar Busa yang dikeluarkan oleh Kementerian PUPR, karena bata ringan memiliki nilai kuat tekan rata – rata 1,27 MPa.

3. Variasi 3

Tabel 4. 18 Hasil pengujian kuat tekan variasi 3

Variasi 3 (Substitusi Abu Tempurung Kelapa 10%)						
Sampel Benda Uji	Dimensi			Luas Bidang Tekan (A)	Hasil Kuat Tekan Alat	Konversi
	p (cm)	l (cm)	t (cm)	cm ²	KN	MPa
1.	10	10	10	100	12	1,2
2.	10	10	10	100	12	1,2
3.	10	10	10	100	11	1,1
Rata-rata					11,7	1,17

Hasil analisis pengujian kuat tekan telah memenuhi Pedoman Spesifikasi Material Ringan Mortar Busa yang dikeluarkan oleh Kementerian PUPR, karena bata ringan memiliki nilai kuat tekan rata – rata 1,17 MPa.

4. Variasi 4

Tabel 4. 19 Hasil pengujian kuat tekan variasi 4

Variasi 4 (Substitusi Abu Tempurung Kelapa 15%)						
Sampel Benda Uji	Dimensi			Luas Bidang Tekan (A)	Hasil Kuat Tekan Alat	Konversi
	p (cm)	l (cm)	t (cm)	cm ²	KN	MPa
1.	10	10	10	100	1	1
2.	10	10	10	100	9	0,9
3.	10	10	10	100	8	0,8
Rata-rata					9	0,9

Hasil analisis pengujian kuat tekan telah memenuhi Pedoman Spesifikasi Material Ringan Mortar Busa yang dikeluarkan oleh Kementerian PUPR, karena bata ringan memiliki nilai kuat tekan rata – rata 0,9 MPa.

5. Variasi 5

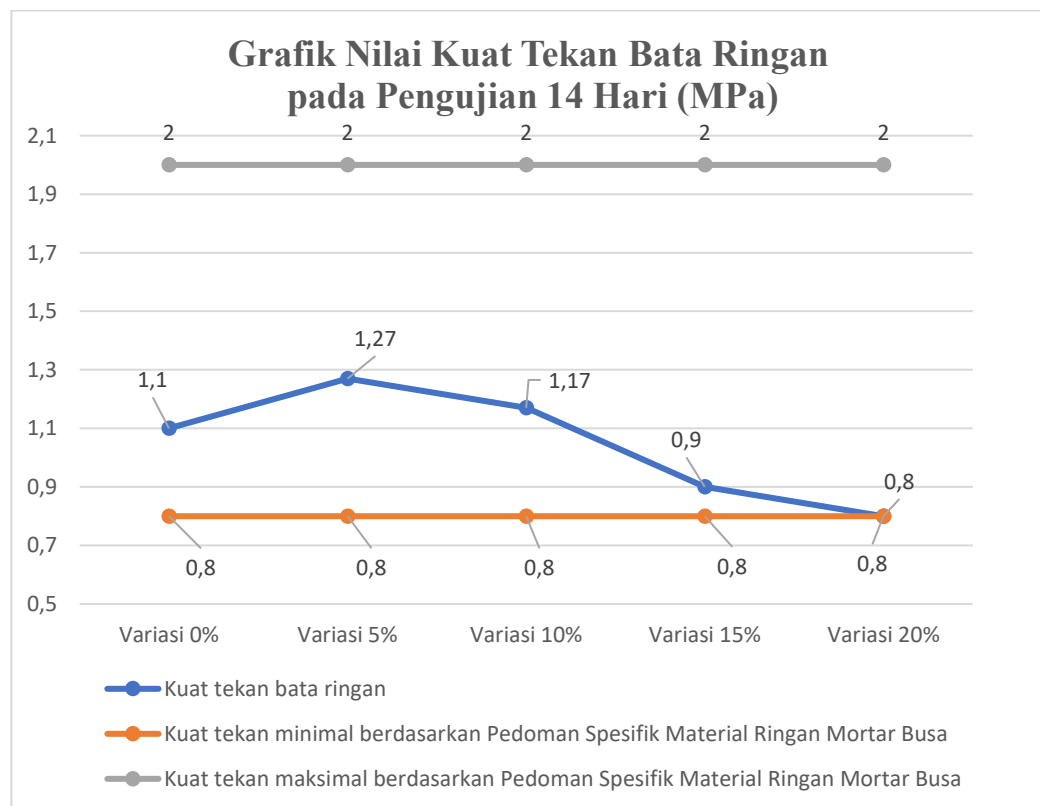
Tabel 4. 20 Hasil pengujian kuat tekan variasi 5

Variasi 5 (Substitusi Abu Tempurung Kelapa 20%)						
Sampel Benda Uji	Dimensi			Luas Bidang Tekan (A)	Hasil Kuat Tekan Alat	Konversi
	p (cm)	l (cm)	t (cm)	cm ²	KN	MPa
1.	10	10	10	100	9	0,9
2.	10	10	10	100	7	0,7
3.	10	10	10	100	8	0,8
Rata-rata					8	0,8

Hasil analisis pengujian kuat tekan telah memenuhi Pedoman Spesifikasi Material Ringan Mortar Busa yang dikeluarkan oleh Kementerian PUPR, karena bata ringan memiliki nilai kuat tekan rata – rata 0,8 MPa.

Tabel 4. 21 Hasil rekapitulasi pengujian kuat tekan

Tipe Variasi	Nilai Kuat Tekan	Nilai Kuat Tekan berdasarkan Spesifikasi Material Ringan Mortar Busa (0,8 MPa – 2 MPa)
0%	1,1 MPa	Memenuhi
5%	1,27 MPa	Memenuhi
10%	1,17 MPa	Memenuhi
15%	0,9 MPa	Memenuhi
20%	0,8 MPa	Memenuhi



Gambar 4. 3 Grafik hasil nilai kuat tekan bata ringan

Grafik berikut menunjukkan hasil dari beberapa uji kekuatan tekan yang telah dilakukan. Variasi 5% memiliki nilai kekuatan tekan paling tinggi pada semua variasi bata ringan pada hari ke-14 dengan nilai kuat tekan 1,27 MPa. Pada hari ke-14, nilai kekuatan tekan terendah bata ringan, 0,8 MPa, terdapat pada variasi 20%. Kekuatan tekan bata ringan dengan variasi 5% abu tempurung kelapa lebih tinggi daripada bata ringan konvensional atau bata ringan dengan variasi 0%. Namun, variasi 10%, 15%, dan 20% menunjukkan penurunan kekuatan tekan setelah variasi 5%.

Diketahui pengujian semua variasi bata ringan pada hari 14 memiliki nilai kuat tekan rata-rata masih dalam standar bata ringan nonstruktural kelas IIA pada Pedoman Spesifikasi Material Ringan Mortar Busa yaitu dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 0,8 - 2 MPa. Pada variasi 5% mengalami kenaikan kuat tekan sebesar 1,27 MPa, setelah itu mengalami penurunan pada variasi 10% sebesar 1,17 MPa, tetapi nilai kuat tekannya masih lebih besar dibandingkan dengan variasi 0% atau bata konvensional yang memiliki kuat tekan 1,1 MPa. Pada variasi 15% dan 20% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 0,9 MPa dan 0,8 MPa.

Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan abu tempurung kelapa ke dalam bata ringan dapat meningkatkan kekuatan tekan rata-ratanya dibandingkan dengan bata ringan konvensional. Telah terbukti bahwa bata ringan dengan variasi 5% dan 10% memiliki kekuatan tekan rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan bata ringan konvensional, hal ini dikarenakan penggunaan substitusi abu tempurung kelapa pada semen dengan komposisi tidak berlebihan, karena abu tempurung kelapa memiliki kandungan CaO dan SiO₂ karena bersifat mengikat atau sebagai perekat dan memberikan kekuatan. Dengan itu, penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan CaO dan SiO₂ pada semen dapat digantikan dengan kandungan CaO dan SiO₂ pada abu tempurung kelapa (Hambali, dkk 2013). Meskipun tidak sekuat semen, abu tempurung kelapa juga memiliki kekuatan ikatan dan kekuatan yang hampir sama.

4.3.4 Temperatur Suhu

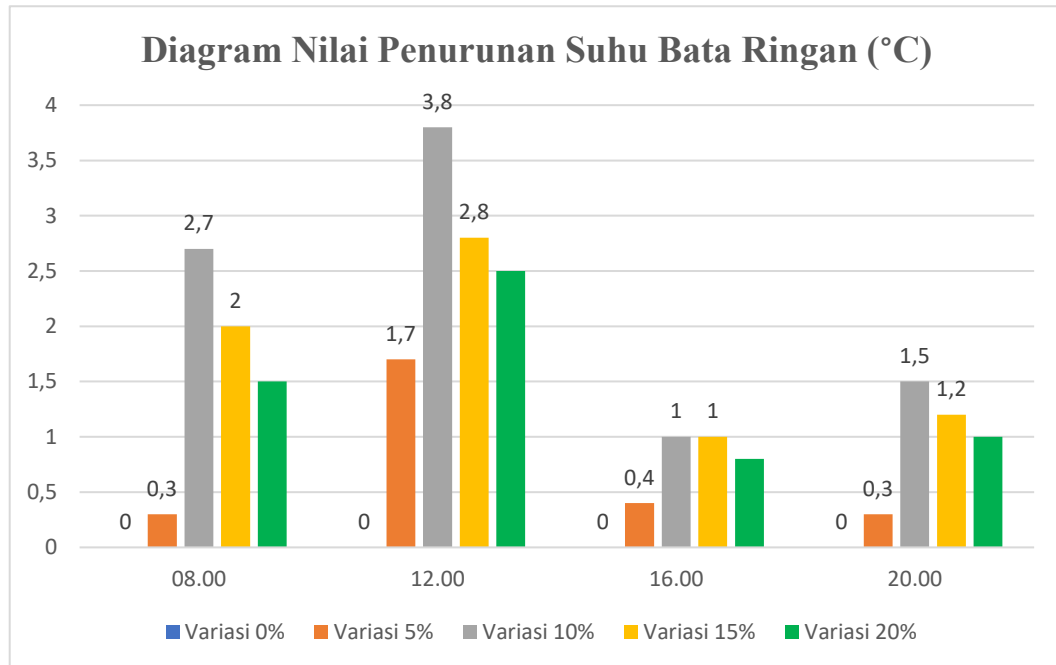
Pada pengujian temperatur suhu dilakukan pada pukul 08.00 WIB, 12.00 WIB, 16.00 WIB, dan 20.00 WIB. Pengujian dilakukan selama 2 hari pada tanggal 1 Juli 2025 untuk variasi 0%, 5%, dan 10%, serta tanggal 2 Juli 2025 untuk variasi 15% dan 20%. Hasil dari pengujian temperatur disajikan pada table berikut.

Tabel 4. 22 Hasil pengujian temperatur suhu

Temperatur Suhu Ruangan Benda Uji				
Variasi Benda Uji	Temperatur Suhu (08.00 WIB)	Temperatur Suhu (12.00 WIB)	Temperatur Suhu (16.00 WIB)	Temperatur Suhu (20.00 WIB)
0%	29,6°	34,3°	30,8°	29,5°
5%	29,3°	32,6°	30,4°	29,2°
10%	26,9°	30,5°	29,8°	28°
15%	27,6°	31,5°	29,8°	28,3°
20%	28,1°	31,8°	30°	28,5°

Tabel 4. 23 Nilai penurunan suhu bata ringan (ΔT)

Penurunan Temperatur Suhu Benda Uji				
Variasi Benda Uji	Temperatur Suhu (08.00 WIB)	Temperatur Suhu (12.00 WIB)	Temperatur Suhu (16.00 WIB)	Temperatur Suhu (20.00 WIB)
0%	0°	0°	0°	0°
5%	0,3°	1,7°	0,4°	0,3°
10%	2,7°	3,8°	1°	1,5°
15%	2°	2,8°	1°	1,2°
20%	1,5°	2,5°	0,8°	1°



Gambar 4. 4 Diagram nilai penurunan suhu bata ringan

Hasil pengujian temperatur suhu yang telah dilakukan dapat ditunjukkan pada grafik 4.6. Diketahui bahwa nilai temperatur suhu bata ringan hari ke 14 mengalami penurunan. Nilai temperatur suhu terendah pada variasi 10% dan mulai mengalami kenaikan pada variasi 15% dan 20% tetapi nilai temperatur suhu masih lebih rendah dibandingkan dengan nilai temperatur suhu pada bata ringan konvensional atau variasi 0%. Pada pengujian temperatur suhu di jam 08.00 WIB penurunan suhu pada variasi 5%,10%,15%, dan 20% berturut-turut adalah 0,3°, 2,7°, 2°, 1,5°. Pada pengujian temperatur suhu di jam 12.00 WIB penurunan suhu pada variasi 5%,10%,15%, dan 20% berturut-turut adalah 1,7°, 3,8°, 2,8°, 2,5°. Pada pengujian temperatur suhu di jam 16.00 WIB penurunan suhu pada variasi 5%,10%,15%, dan 20% berturut-turut adalah 0,4°, 1°, 1°, 0,8°. Pada pengujian temperatur suhu di jam 20.00 WIB penurunan suhu pada variasi 5%,10%,15%, dan 20% berturut-turut adalah 0,3°, 1,5°, 1,2°, 1°.

Diketahui variasi bata ringan 5%, 10%, 15% dan 20% memiliki nilai temperatur suhu pada hari 14 yang masih lebih rendah dibandingkan dengan nilai temperatur

suhu pada bata ringan konvensional atau variasi 0%. Namun, penurunan nilai temperatur suhu tertinggi adalah pada variasi 10% yaitu 2,7° pada pengujian pukul 08.00 WIB, 3,8° pada pengujian pukul 12.00 WIB, 1° pada pengujian pukul 16.00 WIB, 1,5° pada pengujian pukul 20.00 WIB.

Penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan abu tempurung kelapa dalam bata ringan dapat menurunkan temperatur suhu rata-ratanya daripada bata ringan konvensional. Terbukti pada semua variasi bata ringan mengalami penurunan suhu rata-ratanya dibandingkan dengan bata ringan konvensional. Hal ini dikarenakan kandungan karbon (C) pada abu tempurung kelapa dapat meningkatkan konduktivitas termal. Sebagaimana yang telah disampaikan oleh Astika, dkk (2021) bahwa konduktivitas termal pada material dapat meningkatkan penyerapan panas dan memperlambat pelepasan panas sehingga dapat digunakan sebagai sistem penyimpanan panas. (Astika, dkk., 2021). Ketika nilai konduktivitas termal terlalu besar maka pelepasan panas juga akan meningkat, hal ini disebabkan karena semakin tinggi konduktivitas termal maka semakin kecil resistensi panas pada material tersebut. (Miranto, dkk., 2022)

4.3.5 Analisis Biaya

Biaya produksi bata ringan yang dibuat dengan abu tempurung kelapa sebagai pengganti semen dihitung secara rinci di bawah ini. Harga bahan-bahan ini sesuai dengan Peraturan Walikota tentang Standarisasi Harga Satuan Bahan Bangunan, Tenaga Kerja, dan Analisis Pekerjaan untuk Kegiatan Konstruksi Pemerintah di Kota Semarang, Anggaran 2024, Edisi Kedua. Berikut ini adalah rincian biaya bahan untuk bata ringan, sebagaimana tercantum dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4. 24 Rincian harga material

Volume Benda Uji	Harga Semen (Rp/Kg)	Harga Pasir (Rp/Kg)	Harga Air (Rp/ltr)	Harga <i>Foam Agent</i> (Rp/ltr)	Harga Abu Tempurung Kelapa (Rp/Kg)
12000	1410	246	16	35000	1400

a. Variasi 1

Variasi 1 bisa juga disebut dengan batu bata ringan konvensional tanpa adanya bahan substitusi, berikut adalah perhitungan biaya produksinya.

Kebutuhan semen	= 3,30 Kg
Perhitungan	= kebutuhan semen x harga semen
	= 3,30 x 1410
	= Rp. 4653
Kebutuhan pasir	= 4,43 Kg
Perhitungan	= kebutuhan pasir x harga pasir
	= 4,43 x 246
	= Rp. 1089,32
Kebutuhan air	= 2,20 L
Perhitungan	= kebutuhan air x harga air
	= 2,20 x 16
	= Rp. 35,23
Kebutuhan <i>foam agent</i>	= 0,020 L
Perhitungan	= kebutuhan <i>foam</i> x harga <i>foam</i>
	= 0,020 x 35000
	= Rp. 709,77

Total biaya produksi 1 sampel benda uji

$$= 4653 + 1089,32 + 35,23 + 709,77$$
$$= \text{Rp. } 6487,31$$

b. Variasi 2

Variasi 2 dengan persentase substitusi abu tempurung kelapa sebesar 5% dari volume semen, berikut adalah perhitungan biaya produksinya.

Kebutuhan semen	= 3,14 Kg
Perhitungan	= kebutuhan semen x harga semen
	= 3,14 x 1410
	= Rp. 4420,35
Kebutuhan pasir	= 4,40 Kg
Perhitungan	= kebutuhan pasir x harga pasir

	= 4,40 x 246
	= Rp. 1083,39
Kebutuhan air	= 2,20 L
Perhitungan	= kebutuhan air x harga air
	= 2,20 x 16
	= Rp. 35,23
Kebutuhan <i>foam agent</i>	= 0,020 L
Perhitungan	= kebutuhan <i>foam</i> x harga <i>foam</i>
	= 0,020 x 35000
	= Rp. 709,77
Kebutuhan ATK	= 0,165 Kg
Perhitungan	= kebutuhan ATK x harga ATK
	= 0,165 x 1400
	= Rp. 231

Total biaya produksi 1 sampel benda uji

$$= 4420,35 + 1083,39 + 35,23 + 709,77 + 231$$

$$= \text{Rp. } 6484,64$$

c. Variasi 3

Variasi 3 dengan persentase substitusi abu tempurung kelapa sebesar 10% dari volume semen, berikut adalah perhitungan biaya produksinya.

Kebutuhan semen	= 2,97 Kg
Perhitungan	= kebutuhan semen x harga semen
	= 2,97 x 1410
	= Rp. 4187,70
Kebutuhan pasir	= 4,38 Kg
Perhitungan	= kebutuhan pasir x harga pasir
	= 4,38 x 246
	= Rp. 1077,47
Kebutuhan air	= 2,20 L
Perhitungan	= kebutuhan air x harga air

$$\begin{aligned}
&= 2,20 \times 16 \\
&= \text{Rp. } 35,23 \\
\text{Kebutuhan } foam \text{ agent} &= 0,020 \text{ L} \\
\text{Perhitungan} &= \text{kebutuhan } foam \times \text{harga } foam \\
&= 0,020 \times 35000 \\
&= \text{Rp. } 709,77 \\
\text{Kebutuhan ATK} &= 0,330 \text{ Kg} \\
\text{Perhitungan} &= \text{kebutuhan ATK} \times \text{harga ATK} \\
&= 0,330 \times 1400 \\
&= \text{Rp. } 462
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Total biaya produksi 1 sampel benda uji} \\
&= 4187,70 + 1077,47 + 35,23 + \\
&\quad 709,77 + 462 \\
&= \text{Rp. } 6473,11
\end{aligned}$$

d. Variasi 4

Variasi 4 dengan persentase substitusi abu tempurung kelapa sebesar 15% dari volume semen, berikut adalah perhitungan biaya produksinya.

$$\begin{aligned}
\text{Kebutuhan semen} &= 2,81 \text{ Kg} \\
\text{Perhitungan} &= \text{kebutuhan semen} \times \text{harga semen} \\
&= 2,81 \times 1410 \\
&= \text{Rp. } 5955,05 \\
\text{Kebutuhan pasir} &= 4,36 \text{ Kg} \\
\text{Perhitungan} &= \text{kebutuhan pasir} \times \text{harga pasir} \\
&= 4,36 \times 246 \\
&= \text{Rp. } 1071,54 \\
\text{Kebutuhan air} &= 2,20 \text{ L} \\
\text{Perhitungan} &= \text{kebutuhan air} \times \text{harga air} \\
&= 2,20 \times 16 \\
&= \text{Rp. } 35,23 \\
\text{Kebutuhan } foam \text{ agent} &= 0,020 \text{ L} \\
\text{Perhitungan} &= \text{kebutuhan } foam \times \text{harga } foam
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,020 \times 35000 \\
 &= \text{Rp. } 709,77 \\
 \text{Kebutuhan ATK} &= 0,495 \text{ Kg} \\
 \text{Perhitungan} &= \text{kebutuhan ATK} \times \text{harga ATK} \\
 &= 0,495 \times 1400 \\
 &= \text{Rp. } 693
 \end{aligned}$$

Total biaya produksi 1 sampel benda uji

$$\begin{aligned}
 &= 5955,05 + 1071,54 + 35,23 + \\
 &\quad 709,77 + 693 \\
 &= \text{Rp. } 6461,58
 \end{aligned}$$

e. Variasi 5

Variasi 5 dengan persentase substitusi abu tempurung kelapa sebesar 20% dari volume semen, berikut adalah perhitungan biaya produksinya.

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan semen} &= 2,64 \text{ Kg} \\
 \text{Perhitungan} &= \text{kebutuhan semen} \times \text{harga semen} \\
 &= 2,64 \times 1410 \\
 &= \text{Rp. } 3722,40
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan pasir} &= 4,33 \text{ Kg} \\
 \text{Perhitungan} &= \text{kebutuhan pasir} \times \text{harga pasir} \\
 &= 4,33 \times 246 \\
 &= \text{Rp. } 1065,62
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan air} &= 2,20 \text{ L} \\
 \text{Perhitungan} &= \text{kebutuhan air} \times \text{harga air} \\
 &= 2,20 \times 16 \\
 &= \text{Rp. } 35,23
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan } foam \text{ agent} &= 0,020 \text{ L} \\
 \text{Perhitungan} &= \text{kebutuhan } foam \times \text{harga } foam \\
 &= 0,020 \times 35000 \\
 &= \text{Rp. } 709,77
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan ATK} &= 0,660 \text{ Kg} \\
 \text{Perhitungan} &= \text{kebutuhan ATK} \times \text{harga ATK}
 \end{aligned}$$

$$= 0,660 \times 1400$$

$$= \text{Rp. 924}$$

Total biaya produksi 1 sampel benda uji

$$= 3722,40 + 1065,62 + 35,23 +$$

$$709,77 + 924$$

$$= \text{Rp. 6450,05}$$

Tabel 4. 25 Rekapitulasi analisis perbandingan harga biaya produksi

Tipe Variasi	Semen (Rp)	Pasir (Rp)	Air (Rp)	Foam Agent (Rp)	Abu Tempurung Kelapa (Rp)	Total Biaya Produksi (Rp)
0%	4650	1089,32	35,2	709,77	0	6487,31
5%	4420,35	1083,39	35,2	709,77	2310	6484,64
10%	4187,70	1077,47	35,2	709,77	4620	6473,11
15%	3955,05	1071,54	35,2	709,77	6930	6461,58
20%	3722,40	1065,62	35,2	709,77	9240	6450,05

Pada analisis perhitungan biaya produksi pada penelitian bata ringan menggunakan abu tempurung kelapa substitusi pada semen dengan harga produksi sejumlah :

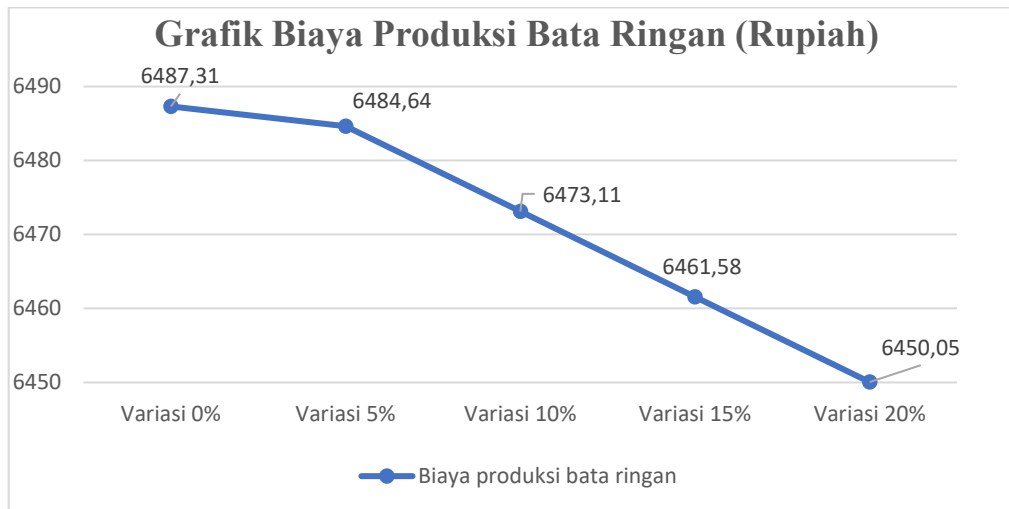
Variasi 0% sebesar Rp. 6487,31.

Variasi 5% sebesar Rp. 6484,64.

Variasi 10% sebesar Rp. 6473,11.

Variasi 15% sebesar Rp. 6461,58.

Variasi 20% sebesar Rp. 6450.05.



Gambar 4. 5 Grafik biaya produksi bata ringan

Dapat disimpulkan bahwa varian bata ringan 0% memiliki nilai produksi tertinggi sebesar Rp. 6.484,64, sementara varian bata ringan 20% memiliki nilai produksi terendah sebesar Rp. 6.450,05. Grafik menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase abu tempurung kelapa, semakin rendah biaya produksi bata ringan. Hal ini karena abu tempurung kelapa per kilogram lebih murah daripada semen per kilogram.

4.4 Rekapitulasi Hasil Pengujian

Dari semua pengujian di atas didapatkan hasil rata-rata pada setiap pengujian yang disajikan pada table berikut.

Tabel 4. 26 Rekapitulasi hasil pengujian bata ringan

Tipe Variasi	Hasil Rata-Rata Densitas (Kg/m ³)	Hasil Rata-Rata Daya Serap (%)	Hasil Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)	Hasil Biaya 1 Benda Uji	Hasil Penurunan Suhu pada Pukul 12.00 WIB
0%	719,305	18,24	1,1	6487,31	0°
5%	773,055	14,44	1,27	6484,64	1,7°
10%	735	16,58	1,17	6473,11	3,8°
15%	695,277	20,59	0,9	6461,58	2,8°
20%	674,861	23,03	0,8	6450,05	2,5°

Dari tabel di atas, menunjukkan bahwa penggunaan abu tempurung kelapa sebagai pengganti semen dapat menurunkan rata-rata berat jenis atau densitas. Seperti yang dapat diamati, semua hasil uji densitas masuk ke dalam kelompok bata ringan berdensitas rendah atau berkisar antara 600-800 kg/m³. Dengan demikian, setiap benda uji memenuhi persyaratan SNI 8640-2018 dan Pedoman Spesifikasi Material Ringan Mortar Busa. Hasil daya serap rata-rata yang didapat dari masing-masing variasi mengalami peningkatan, dimana semakin banyak substitusi pada bahan material atau semakin banyak penggunaan abu tempurung kelapa, maka daya serap semakin meningkat. Namun, nilai rata-rata daya serap pada seluruh variasi masih dalam batas SNI 8640-2018. Variasi 5% mengalami peningkatan nilai kekuatan tekan rata-rata dari pengujian pada setiap variasi. Setelah itu, variasi sebesar 10%, 15%, dan 20% menunjukkan penurunan nilai kekuatan tekan. Pada temperatur suhu mengalami penurunan suhu terhadap bata ringan variasi 0% pada semua variasi. Penambahan variasi pada bata ringan yang terbuat dari abu tempurung kelapa dapat mengurangi biaya produksi dikarenakan memiliki harga per kilo lebih rendah dibandingkan dengan harga per kilo semen.

Dari hasil semua pengujian, pada variasi 5% dengan densitas rata-rata 773,055 kg/m³ memiliki kuat tekan rata-rata yang paling tinggi, yaitu sebesar 1,27 MPa. Hal ini sesuai dengan penelitian “Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Agregat Lokal dan Abu Tempurung Kelapa sebagai Substitusi Parsial Semen” dimana pada penelitian tersebut kuat tekan tertinggi terdapat pada variasi 5% (Langitan et al., 2022). Pada penelitian “Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa terhadap Kuat Tekan Paving Block”, kuat tekan optimal paving block pada variasi 5%, dan mulai menurun pada variasi 10% sampai variasi 20% tetapi pada variasi 15% dan 20% kuat tekan paving block lebih rendah dibandingkan dengan kuat tekan paving block variasi 0% (Arman et al., 2023). Hasil dari penelitian tersebut juga sesuai dengan penelitian ini.

Pada pengujian temperatur suhu, penurunan suhu paling tinggi adalah pada variasi 10% dengan penurunan suhu pada pukul 08.00 WIB adalah 2,7°, pada pukul

12,00 WIB adalah 3,8°, pada pukul 16.00 WIB adalah 1°, dan pada pukul 20.00 WIB adalah 1,5°. Pada penelitian “Batu Bata Berbahan Limbah Abu Cangkang Kelapa Sawit dan Daun Teh sebagai Peredam Suhu Panas Bangunan” menggunakan substitusi dengan jenis abu yang berbeda, yaitu abu cangkang kelapa. Penurunan temperatur suhu paling tinggi memiliki rata-rata penurunan sebesar 4,9°-5,65°(Cyntia et al., 2020).

Analisis harga produksi pada penelitian ini menunjukkan semakin besar substitusi abu tempurung kelapa maka semakin kecil harga produksi bata ringan. Ini disebabkan karena limbah yang digunakan memiliki harga per kilo lebih rendah daripada harga per kilo semen. Sehingga dapat disimpulkan untuk analisis biaya produksi pada variasi 20% adalah bata ringan variasi dengan biaya produksi paling rendah

Sehingga, dapat diambil kesimpulan pada penelitian ini, pada variasi 5% dengan berat jenis 773,055 kg/m³ adalah densitas yang terendah dari semua variasi, lalu untuk daya serap sebesar 14.44% adalah nilai tertinggi daya serap. Untuk temperatur suhu di variasi 10% merupakan variasi dengan penurunan suhu yang paling besar. Pada hari ke-14, nilai kuat tekan maksimum pada variasi 5% adalah 1,27 MPa. Juga terlihat bahwa, dari semua variasi bata ringan, biaya produksi terendah terdapat pada variasi 20%.