

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas hasil dan pembahasan penelitian bata ringan yang mencakup pengolahan limbah yang dipakai sebagai material substitusi, pengujian material penyusun bata ringan, pembuatan benda uji, dan pengujian sampel benda uji untuk densitas/berat jenis, kuat tekan, daya serap air, dan kinerja akustik

4.1 Hasil Pengujian Material Penyusun

Pada pembuatan bata ringan, harus dilakukan pengujian material yang akan digunakan untuk menguji kelayakan bahan yang dipakai pada campuran bata ringan.

4.1.1 Gradasi Agregat

Tujuan dilakukannya pengujian gradasi pada pasir adalah untuk menentukan ukuran dimensi butiran pasir dengan menggunakan ayakan sehingga didapat persentase besar butiran pasir. Klasifikasi ini didasarkan pada seberapa besar butiran yang diuji dengan menggunakan saringan ukuran 9,5 mm; 4,75 mm; 2,40 mm; 1,18 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm; dan pan.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Gradasi Pasir

Nomor Saringan	Lubang Ayakan	Berat Tertahan di Saringan (gram)	% Berat tertahan di saringan	% Kumulatif yang tertahan di saringan	% yang lolos saringan
No. 3/8	9,60	0	0	0	100
No. 4	4,80	17	1,7	1,7	98,3
No. 8	2,40	62	6,2	7,9	92,1
No. 16	1,20	173,7	17,37	25,27	74,73
No. 30	0,60	65	6,5	31,77	68,23
No. 50	0,30	326	32,6	64,37	35,63
No. 100	0,15	211	21,1	85,47	14,53
sisa		145	14,5	100	0
Jumlah		999,7	100	316,48	

Berdasarkan hasil pengujian, distribusi butiran pasir menunjukkan bahwa sebagian besar agregat halus tertahan pada saringan No. 50 (0,30 mm) dan No. 100 (0,15

mm). Nilai Modulus Halus Butir (MHB) yang diperoleh sebesar 3,16 berada dalam rentang yang baik sesuai SNI 03-1968-1990 (1,5–3,8). Selain itu, kehilangan berat selama pengujian hanya 0,03%, jauh di bawah batas maksimum 2%.

Hasil ini menunjukkan bahwa gradasi agregat halus yang digunakan cukup baik dan memenuhi persyaratan untuk campuran bata ringan. Distribusi butiran yang kontinu mendukung kepadatan matriks dan mengurangi rongga antartikel, sehingga berpotensi meningkatkan kekuatan mekanis bata ringan.

4.1.2 Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur bertujuan untuk mengetahui kandungan material halus yang dapat mengganggu ikatan semen. Berdasarkan hasil pengujian, kadar lumpur pada sampel pasir adalah 3,33%. Nilai ini masih berada di bawah batas maksimum 5% sesuai SNI SK SNI S-04-1989-F.

Kadar lumpur yang rendah menandakan bahwa agregat halus bersih dan tidak akan menghambat proses hidrasi semen. Dengan demikian, pasir yang digunakan layak sebagai bahan penyusun bata ringan.

4.1.3 Kadar Organik

Pengujian kadar organik dilakukan untuk mendeteksi keberadaan bahan organik yang dapat mengganggu kualitas campuran. Hasil pengujian menunjukkan kadar organik sebesar 3,57% dengan warna larutan NaOH kekuningan. Nilai ini masih di bawah batas maksimum 5% sesuai SNI 2816:2014 dan SNI S-04-1999-F.

Warna larutan yang kekuningan mengindikasikan bahwa kandungan zat organik dalam pasir tidak signifikan. Oleh karena itu, agregat halus ini tidak akan mengganggu proses hidrasi semen dan memenuhi persyaratan sebagai bahan penyusun bata ringan.

4.1.4 Berat Jenis Agregat

Berat jenis dapat didefinisikan sebagai rasio berat suatu benda terhadap volumenya. Pengujian berat jenis ini dilakukan untuk mengetahui apakah sampel agregat halus memiliki berat jenis yang memenuhi ketentuan atau standar yang berlaku.

Dari pengujian berat jenis yang dilakukan pada sampel pasir, didapat data pengujian seperti pada Tabel 4.3 yang kemudian dilakukan perhitungan untuk menghitung berat jenis pasir seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4.2. Pengujian Berat Jenis Pasir

Pengujian	A (gr)
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500
Berat benda uji kering oven (BK)	448,5
Berat piknometer diisi air 25°C (B)	668,7
Berat piknometer + benda uji SSD + air 25°C (Bt)	990,4

Tabel 4.3. Perhitungan Pengujian Berat Jenis Pasir

Perhitungan	A
Berat Jenis (Bulk) $BK/(B+SSD-Bt)$	2,74 gr/cm ³
Berat Jenis Permukaan Jenuh (SSD) $SSD/(B+SSD-Bt)$	2,80 gr/cm ³
Berat Jenis Semu (Apparent) $BK/(B+BK-Bt)$	2,90 gr/cm ³
Penyerapan (Absorption) $(SSD-BK)/BK \times 100\%$	2,35%

Berdasarkan hasil pengujian di atas, sampel pasir memiliki berat jenis bulk sebesar 2,74 gr/cm³, berat jenis permukaan jenuh (SSD) sebesar 2,80 gr/cm³, berat jenis semu (apparent) sebesar 2,90 gr/cm³, dan nilai penyerapan sebesar 2,35%.

Nilai-nilai tersebut memenuhi persyaratan sebagai agregat halus untuk pembuatan bata ringan. Menurut SNI 1970:2016 tentang Agregat Beton, berat jenis bulk agregat halus harus minimal 2,50 gr/cm³. Hasil pengujian sebesar 2,74 gr/cm³ telah memenuhi standar tersebut. Selain itu, berdasarkan ASTM C33/C33M-18 (Standard Specification for Concrete Aggregates), penyerapan agregat halus sebaiknya tidak melebihi 3,0%–5,0%. Nilai penyerapan 2,35% yang diperoleh menunjukkan bahwa agregat halus ini memiliki porositas yang rendah dan termasuk kategori agregat yang baik.

4.1.5 Waktu Pengikatan Awal

Pengujian waktu pengikatan awal semen dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan pasta semen mulai kehilangan sifat plastisnya setelah dicampur dengan air. Pengujian ini menggunakan alat Vicat dengan mengamati penurunan jarum

pada interval waktu tertentu hingga mencapai ketentuan waktu pengikatan awal. Hasil pengujian waktu pengikatan awal semen disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Pemeriksaan Waktu Pengikatan Awal Semen

No	Waktu Penurunan (menit)	Penurunan Jarum (mm)	Suhu (°C)
1	15	49	28
2	30	48	28
3	45	46	28
4	60	30	28
5	75	26	28
6	90	23	28

Berdasarkan hasil pengujian, penurunan jarum Vicat mengalami penurunan secara bertahap seiring bertambahnya waktu, dari 49 mm pada menit ke-15 menjadi 23 mm pada menit ke-90 dengan suhu ruangan yang konstan sebesar 28 °C. Hal ini menunjukkan bahwa pasta semen mengalami proses hidrasi sehingga konsistensinya semakin meningkat dan daya penetrasi jarum semakin berkurang.

Menurut SNI 2049:2015 (Semen Portland), waktu pengikatan awal semen Portland Tipe I minimal adalah 45 menit. Dari hasil pengujian, jarum Vicat mencapai kedalaman kurang dari 25 mm pada waktu 90 menit. Dengan demikian, semen yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi persyaratan waktu pengikatan awal standar dan layak digunakan sebagai bahan pengikat pada pembuatan bata ringan.

4.2 Hasil Pengujian Densitas

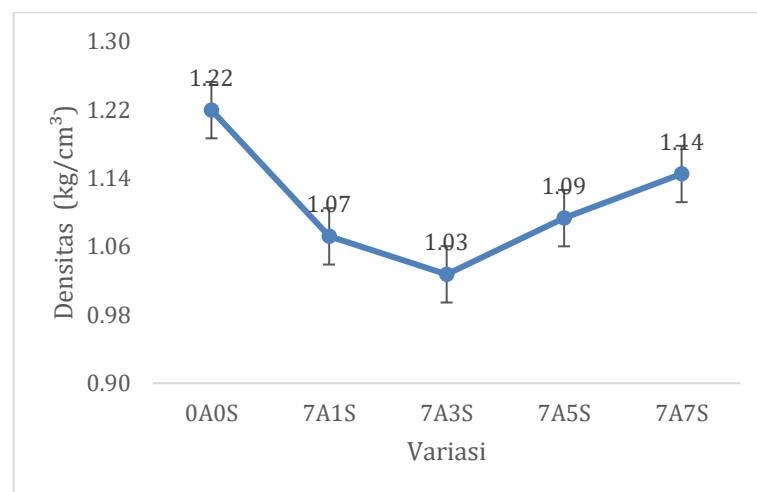
Densitas merupakan salah satu sifat fisik penting bata ringan yang menunjukkan perbandingan antara massa dan volume benda uji. Pengujian densitas dilakukan pada umur 7 hari dan 14 hari dengan menggunakan tiga sampel benda uji untuk setiap variasi. Kode variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0A0S (kontrol), 7A1S, 7A3S, 7A5S, dan 7A7S.

4.2.1 Pengujian Densitas Umur 7 Hari

Pengujian densitas pada umur 7 hari bertujuan untuk mengetahui massa jenis bata ringan pada tahap awal pengerasan. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Densitas Umur 7 Hari

Variasi	Sampel Benda Uji	Berat Awal (kg)	Volume (cm ³)	Berat Jenis (kg/cm ³)	Rata-Rata (kg/cm ³)
0A0S	A1	4,25	3,35	1,26	1,22
	A2	4,20	3,34	1,24	
	A3	3,84	3,38	1,14	
7A1S	B1	3,26	3,24	0,97	1,07
	B2	3,69	3,30	1,09	
	B3	3,63	3,32	1,07	
7A3S	C1	3,10	3,28	0,92	1,03
	C2	3,58	3,36	1,06	
	C3	3,42	3,18	1,01	
7A5S	D1	4,34	3,35	1,28	1,09
	D2	3,13	3,35	0,93	
	D3	3,44	3,27	1,02	
7A7S	E1	4,16	3,30	1,23	1,14
	E2	3,93	3,33	1,16	
	E3	3,35	3,36	0,99	



Gambar 4.1. Rata – Rata Densitas Umur 7 Hari

Berdasarkan Tabel 4.5, variasi 0A0S memiliki densitas rata-rata tertinggi sebesar 1,22 kg/cm³, sedangkan variasi 7A3S menghasilkan densitas rata-rata terendah sebesar 1,03 kg/cm³. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan abu batang jagung sebesar 7% dan serat batang jagung sebesar 3% menghasilkan densitas yang lebih rendah dibandingkan variasi lainnya. Penurunan densitas diduga berkaitan dengan bertambahnya pori-pori pada campuran akibat penambahan serat, sehingga berat jenis bata ringan menjadi lebih rendah.

Perbedaan nilai densitas antar benda uji pada setiap variasi ditunjukkan oleh besarnya nilai standar deviasi. Kondisi ini diduga disebabkan oleh distribusi foam

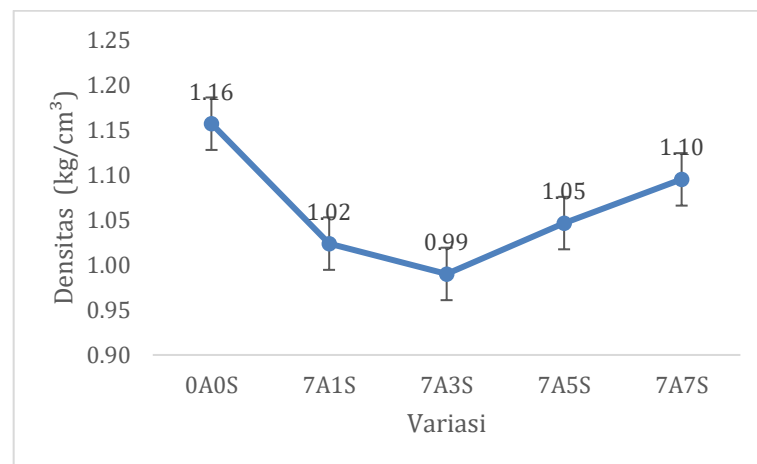
dan serat batang jagung yang belum sepenuhnya homogen selama proses pencampuran, sehingga menghasilkan struktur pori yang berbeda pada setiap benda uji. Menurut Sitompul et al. (2020), variasi distribusi gelembung udara (*air voids*) dan pori pada *foamed concrete* dapat menyebabkan perbedaan nilai densitas. Sejalan dengan itu, Hilal et al. (2019) menyatakan bahwa ukuran dan distribusi pori merupakan faktor yang memengaruhi densitas beton ringan. Oleh karena itu, variasi densitas yang diperoleh pada penelitian ini masih dapat dijelaskan oleh karakteristik internal material yang terbentuk selama proses produksi.

4.2.2 Pengujian Densitas Umur 14 Hari

Pengujian densitas pada umur 14 hari dilakukan untuk melihat perkembangan massa jenis setelah proses pengerasan lebih lanjut. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Densitas Umur 14 Hari

Variasi	Sampel Benda Uji	Berat Awal (kg)	Volume (cm ³)	Berat Jenis (kg/cm ³)	Rata-Rata (kg/cm ³)
0A0S	A1	4,02	3,35	1,19	1,16
	A2	3,99	3,34	1,18	
	A3	3,64	3,38	1,08	
7A1S	B1	3,11	3,24	0,92	1,02
	B2	3,47	3,30	1,03	
	B3	3,52	3,32	1,04	
7A3S	C1	3,02	3,28	0,89	0,99
	C2	3,38	3,36	1,00	
	C3	3,32	3,18	0,98	
7A5S	D1	4,15	3,35	1,23	1,05
	D2	3,01	3,35	0,89	
	D3	3,28	3,27	0,97	
7A7S	E1	3,96	3,30	1,17	1,10
	E2	3,81	3,33	1,13	
	E3	3,16	3,36	0,93	



Gambar 4.2. Rata – Rata Densitas Umur 14 Hari

Berdasarkan Tabel 4.6, variasi 0A0S memiliki densitas rata-rata tertinggi sebesar 1,16 g/cm³, sedangkan variasi 7A3S memiliki densitas rata-rata terendah sebesar 0,99 g/cm³. Secara umum, nilai densitas pada umur 14 hari mengalami penurunan dibandingkan dengan umur 7 hari pada setiap variasi campuran. Penurunan tersebut menunjukkan adanya perubahan karakteristik material selama proses perawatan.

Penurunan densitas diduga berkaitan dengan berkurangnya kadar air bebas selama proses hidrasi serta adanya pori-pori yang terbentuk akibat penambahan serat batang jagung. Penambahan serat cenderung meningkatkan volume rongga di dalam matriks bata ringan sehingga massa jenis material menjadi lebih rendah. Di sisi lain, abu batang jagung yang mengandung silika berpotensi berperan sebagai bahan pozzolan yang membantu memperbaiki struktur pasta semen, meskipun pengaruhnya dipengaruhi oleh komposisi campuran dan penyebaran material di dalam adukan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Amran et al. (2015) yang menyatakan bahwa karakteristik pori merupakan salah satu faktor yang memengaruhi densitas foamed concrete. Selain itu, Hilal et al. (2016) menjelaskan bahwa komposisi campuran dan distribusi gelembung udara pada foamed concrete berpengaruh terhadap perubahan densitas material.

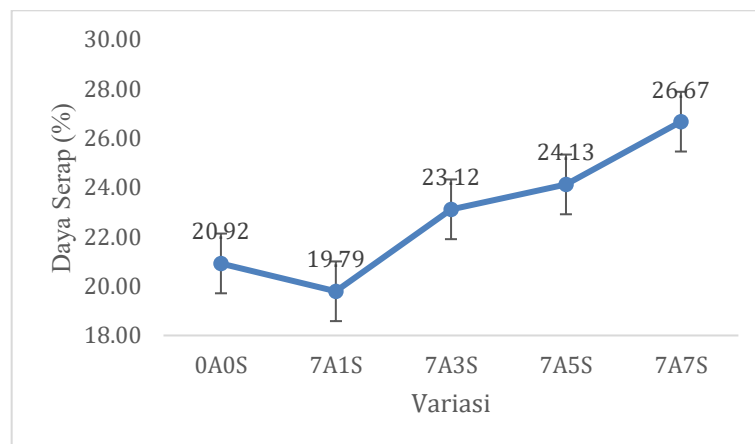
Berdasarkan hasil pengujian, nilai densitas bata ringan pada penelitian ini berada pada kisaran 0,99–1,16 g/cm³ atau 990–1.160 kg/m³. Berdasarkan klasifikasi densitas beton ringan yang dikemukakan oleh Narayanan dan Ramamurthy (2000), variasi 7A3S termasuk dalam kategori beton ringan (800–1.000 kg/m³), sedangkan variasi 0A0S, 7A1S, 7A5S, dan 7A7S termasuk dalam kategori beton ringan sedang (1.000–1.600 kg/m³).

4.2.3 Pengujian Daya Serap Air Umur 7 Hari

Pengujian daya serap air pada umur 7 hari bertujuan untuk mengetahui kemampuan awal bata ringan dalam menyerap air setelah proses pengerasan selama tujuh hari. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil Pengujian Daya Serap Air Umur 7 Hari

Variasi	Sampel Benda Uji	Bio (Berat Kering) (gr)	Bia (Berat Basah) (gr)	Daya Serap Air (%)	Rata-Rata (%)
0A0S	A1	4245	4980	17,31	20,92
	A2	4200	4970	18,33	
	A3	3835	4875	27,12	
7A1S	B1	3260	4060	24,54	19,79
	B2	3690	4375	18,56	
	B3	3625	4215	16,28	
7A3S	C1	3095	3985	28,76	23,12
	C2	3580	4200	17,32	
	C3	3415	4210	23,28	
7A5S	D1	4335	4950	14,19	24,13
	D2	3130	4160	32,91	
	D3	3440	4310	25,29	
7A7S	E1	4155	4995	20,22	26,67
	E2	3925	4885	24,46	
	E3	3347	4530	35,35	



Gambar 4.3. Rata – Rata Daya Serap Air Umur 7 Hari

Berdasarkan Tabel 4.12, variasi 7A1S menghasilkan daya serap air rata-rata terendah sebesar 19,79%, sedangkan variasi 7A7S tertinggi sebesar 26,67%. Kombinasi 7% abu batang jagung dengan 1% serat batang jagung (variasi 7A1S) menghasilkan struktur yang lebih rapat dan mampu membatasi penyerapan air. Hal ini terjadi karena abu batang jagung yang kaya silika dapat mengisi pori mikro, sehingga mengurangi porositas kapiler. Sebaliknya, penambahan serat yang lebih tinggi meningkatkan penyerapan air akibat sifat hidrofilik serat batang jagung (Hilal et al., 2016; Meliyana et al., 2019).

4.3 Hasil Pengujian Daya Serap Air

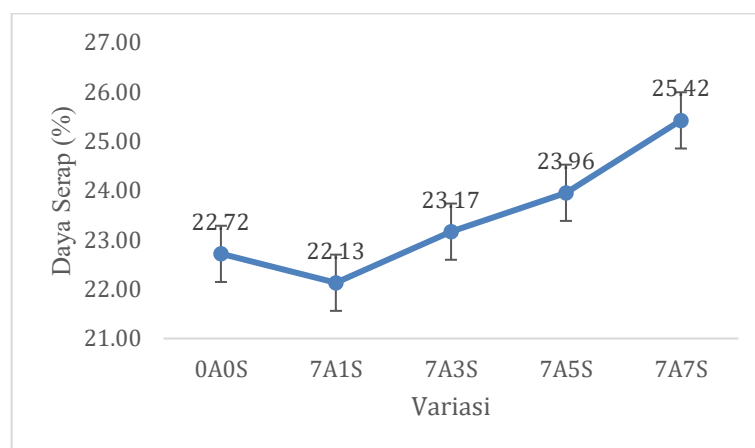
Pengujian daya serap air dilakukan untuk mengetahui kemampuan bata ringan dalam menyerap air melalui pori-porinya. Nilai daya serap air dihitung dari selisih berat benda uji setelah direndam hingga jenuh dengan berat keringnya, kemudian dinyatakan dalam persentase. Semakin rendah nilai daya serap air, semakin baik kualitas bata ringan karena menunjukkan porositas yang lebih kecil dan ketahanan yang lebih baik terhadap air. Pengujian dilakukan pada lima variasi campuran (0A0S, 7A1S, 7A3S, 7A5S, dan 7A7S) pada umur 7 hari dan 14 hari.

4.3.1 Daya Serap Air Umur 14 Hari

Pengujian pada umur 14 hari dilakukan untuk melihat perkembangan daya serap air setelah proses pengerasan yang lebih lama. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Daya Serap Air Umur 14 Hari

Variasi	Sampel Benda Uji	Bio (Berat Kering) (gr)	Bia (Berat Basah) (gr)	Daya Serap Air (%)	Rata-Rata (%)
0A0S	A1	4015	4790	21,79	22,72
	A2	3985	4655	19,95	
	A3	3635	4575	26,41	
7A1S	B1	3135	3955	27,05	22,13
	B2	3470	3985	20,03	
	B3	3520	4200	19,32	
7A3S	C1	3015	3815	26,53	23,17
	C2	3380	4235	22,34	
	C3	3320	4105	20,63	
7A5S	D1	4145	4785	15,44	23,96
	D2	3010	4010	33,22	
	D3	3275	4035	23,21	
7A7S	E1	3955	4575	23,26	25,42
	E2	3810	4355	24,80	
	E3	3155	4145	28,21	



Gambar 4.4. Rata – Rata Daya Serap Air Umur 14 Hari

Berdasarkan Tabel 4.8, variasi 7A1S memiliki daya serap air terendah sebesar 22,13%, sedangkan 7A7S tertinggi sebesar 25,42%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan 7% abu batang jagung dan 1% serat batang jagung mampu menurunkan daya serap air, sedangkan peningkatan kadar serat menyebabkan daya serap air meningkat. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi

kadar serat batang jagung yang digunakan, semakin besar kemampuan material dalam menyerap air.

Abu batang jagung memperbaiki struktur mikro melalui reaksi pozzolanik, sedangkan serat batang jagung yang bersifat hidrofilik meningkatkan porositas dan penyerapan air. Hasil ini sejalan dengan Meliyana et al. (2019).

Secara keseluruhan, variasi 7A1S memberikan kinerja terbaik karena penambahan 1% serat batang jagung masih dapat terdistribusi dengan baik tanpa meningkatkan porositas secara signifikan.

4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kemampuan bata ringan dalam menahan beban tekan hingga mencapai kondisi maksimum sebelum mengalami kerusakan. Nilai kuat tekan dihitung dari perbandingan beban maksimum yang diterima benda uji dengan luas penampangnya (dalam satuan MPa). Pengujian ini dilakukan pada lima variasi campuran (0A0S, 7A1S, 7A3S, 7A5S, dan 7A7S) pada umur 7 hari dan 14 hari.

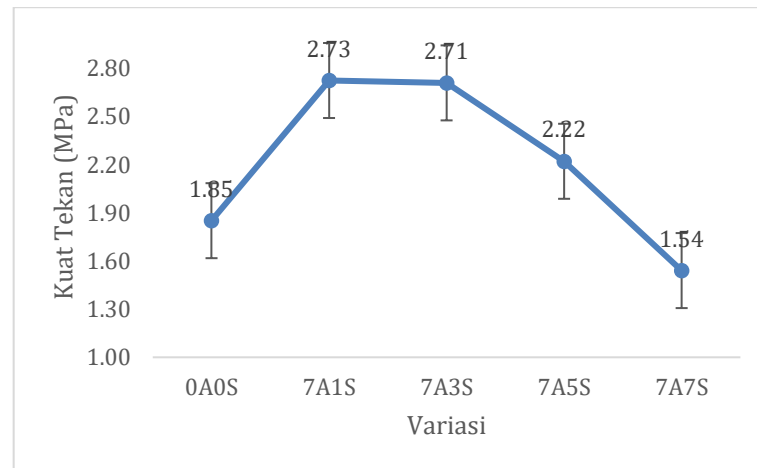
4.4.1 Pengujian Kuat Tekan Umur 7 Hari

Pengujian kuat tekan pada umur 7 hari bertujuan untuk mengetahui kekuatan awal bata ringan setelah proses perawatan selama tujuh hari. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Kuat Tekan Umur 7 Hari

Variasi	Sampel Benda Uji	p (mm)	l (mm)	t (mm)	Luas Bidang Tekan (mm ²)	Berat (kg)	Beban (N)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata (MPa)
0A0S	A1	150	150	150	22.500	4,52	38.000	1,69	1,85
	A2	150	150	150	22.500	4,51	42.000	1,87	
	A3	150	150	150	22.500	4,57	45.000	2,00	
7A1S	B1	150	150	150	22.500	4,39	58.000	2,58	2,72
	B2	150	150	150	22.500	4,22	56.000	2,49	
	B3	150	150	150	22.500	4,47	70.000	3,11	
7A3S	C1	150	150	150	22.500	4,32	34.000	2,31	2,71
	C2	150	150	150	22.500	4,32	52.000	2,80	
	C3	150	150	150	22.500	4,11	63.000	3,02	
7A5S	D1	150	150	150	22.500	4,48	68.000	2,22	2,22
	D2	150	150	150	22.500	4,18	52.000	2,31	
	D3	150	150	150	22.500	4,22	48.000	2,13	

7A7S	E1	150	150	150	22.500	4,30	29.000	1,29	1,54
	E2	150	150	150	22.500	4,38	38.000	1,69	
	E3	150	150	150	22.500	4,31	37.000	1,64	



Gambar 4.5. Rata - Rata Kuat Tekan Umur 7 Hari

Pengujian kuat tekan pada umur 7 hari bertujuan untuk mengetahui kekuatan awal bata ringan setelah proses perawatan. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.9.

Berdasarkan Tabel 4.9, variasi 7A1S menghasilkan kuat tekan rata-rata tertinggi sebesar 2,73 MPa, meningkat sekitar 47,2% dibandingkan variasi kontrol (0A0S). Sementara itu, variasi 7A7S memberikan nilai terendah sebesar 1,541 MPa.

Peningkatan kuat tekan pada variasi rendah serat disebabkan oleh reaksi pozzolanik silika dari abu batang jagung dengan kalsium hidroksida yang membentuk senyawa C-S-H tambahan, sehingga matriks beton menjadi lebih padat (Sudarno et al., 2023). Namun, pada kadar serat yang lebih tinggi (7A5S dan 7A7S), kuat tekan menurun karena peningkatan rongga mikro dan berkurangnya ikatan antara pasta semen dengan agregat (Meliyana et al., 2019).

Berdasarkan SNI 8640:2018, variasi 7A1S, 7A3S, dan 7A5S telah memenuhi persyaratan kuat tekan minimum bata ringan non-struktural sebesar 2 MPa pada umur 7 hari, sedangkan variasi kontrol (0A0S) dan 7A7S belum memenuhi.

4.4.2 Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari

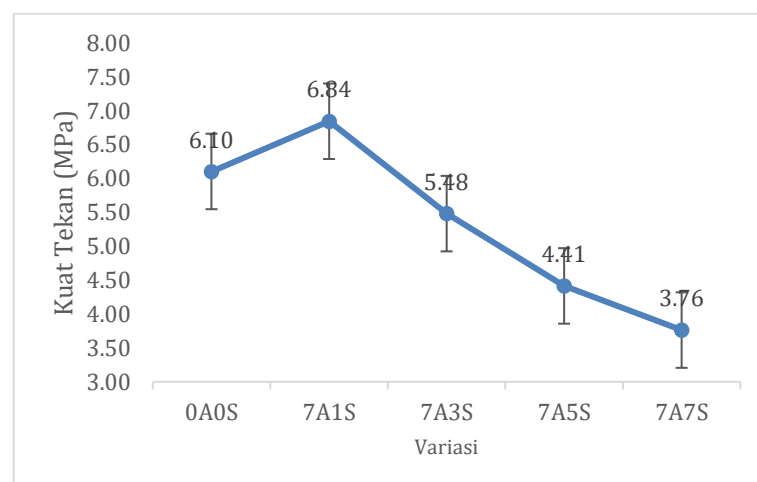
Pengujian kuat tekan pada umur 28 hari dilakukan untuk mengetahui kekuatan tekan bata ringan setelah mencapai umur perawatan yang umumnya dijadikan

acuan dalam penilaian mutu beton. Setiap variasi campuran, yaitu 0A0S, 7A1S, 7A3S, 7A5S, dan 7A7S, diuji menggunakan tiga benda uji. Nilai kuat tekan diperoleh dari perbandingan antara beban maksimum yang mampu ditahan benda uji dengan luas penampangnya, kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk setiap variasi.

Pengujian kuat tekan umur 28 hari dilakukan untuk mengetahui kekuatan akhir bata ringan. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Kuat Tekan Umur 28 Hari

Variasi	Sampel Benda Uji	p (mm)	l (mm)	t (mm)	Luas Bidang Tekan (mm ²)	Berat (kg)	Beban (N)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata (MPa)
0A0S	A1	150	150	150	22500	4,520	122000	5,42	6,10
	A2	150	150	150	22500	4,515	155000	6,89	
	A3	150	150	150	22500	4,570	135000	6,00	
7A1S	B1	150	150	150	22500	4,395	145000	6,44	6,84
	B2	150	150	150	22500	4,220	195000	8,67	
	B3	150	150	150	22500	4,475	122000	5,42	
7A3S	C1	150	150	150	22500	4,320	130000	5,78	5,48
	C2	150	150	150	22500	4,115	125000	5,56	
	C3	150	150	150	22500	4,480	115000	5,11	
7A5S	D1	150	150	150	22500	4,015	103000	4,58	4,41
	D2	150	150	150	22500	4,180	109000	4,84	
	D3	150	150	150	22500	4,225	86000	3,82	
7A7S	E1	150	150	150	22500	4,300	72000	3,20	3,76
	E2	150	150	150	22500	4,385	102000	4,53	
	E3	150	150	150	22500	4,315	80000	3,56	



Gambar 4.6. Rata Rata Kuat Tekan Umur 28 Hari

Pada umur 28 hari, variasi 7A1S menghasilkan kuat tekan tertinggi, yaitu sebesar 6,84 MPa. Nilai ini lebih besar dibandingkan variasi kontrol (0A0S) yang memiliki kuat tekan sebesar 6,104 MPa. Akan tetapi, ketika kadar serat ditingkatkan menjadi 3%, 5%, dan 7%, kuat tekan justru mengalami penurunan. Nilai terendah diperoleh pada variasi 7A7S dengan kuat tekan sebesar 3,76 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serat batang jagung sebesar 1% masih mampu memberikan pengaruh yang baik terhadap kuat tekan bata ringan. Sebaliknya, penggunaan serat dalam jumlah yang lebih banyak cenderung menurunkan kekuatan material. Kondisi tersebut diduga terjadi karena penambahan serat yang berlebihan menyebabkan porositas meningkat dan ikatan antar matriks menjadi kurang optimal akibat penyebaran serat yang tidak merata (Perdana & Tio, 2019; Ramadhan et al., 2021).

Dibandingkan dengan umur 7 hari, seluruh variasi menunjukkan peningkatan kuat tekan pada umur 28 hari. Peningkatan tersebut terjadi karena proses hidrasi semen masih berlangsung selama masa perawatan, sehingga struktur matriks menjadi lebih padat dan kuat. Namun, peningkatan kuat tekan cenderung menurun pada variasi dengan kadar serat yang lebih tinggi. Hal ini diduga disebabkan oleh bertambahnya porositas dan berkurangnya homogenitas matriks akibat distribusi serat yang kurang merata. Kondisi tersebut sejalan dengan penelitian Amran et al. (2015) dan Hilal et al. (2016) yang menyatakan bahwa peningkatan porositas pada foamed concrete dapat menyebabkan penurunan kuat tekan.

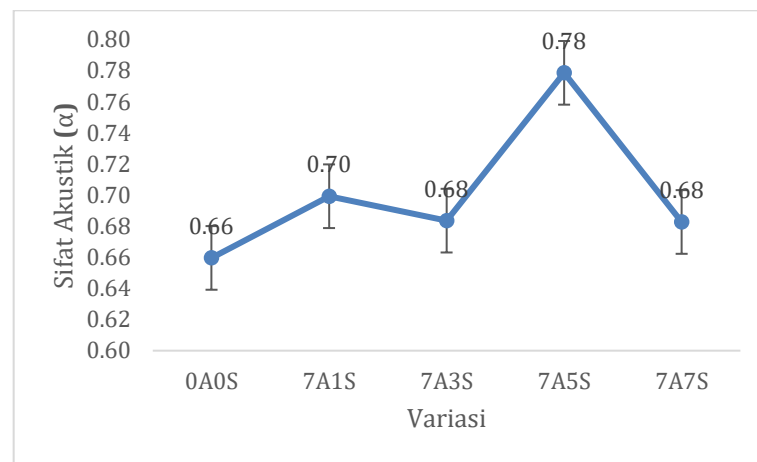
Apabila dibandingkan dengan persyaratan mutu kuat tekan bata ringan berdasarkan SNI 8640:2018, seluruh variasi pada umur 28 hari memenuhi kuat tekan minimum bata ringan nonstruktural, yaitu sebesar 3 MPa. Variasi 7A1S menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 6,84 MPa, sedangkan variasi 7A7S memiliki kuat tekan terendah sebesar 3,76 MPa. Dengan demikian, seluruh variasi campuran pada penelitian ini telah memenuhi persyaratan mutu kuat tekan bata ringan nonstruktural sesuai SNI 8640:2018, meskipun nilai kuat tekan cenderung menurun seiring dengan meningkatnya kadar serat batang jagung.

4.5 Hasil Pengujian Sifat Akustik

Pengujian sifat akustik dilakukan untuk mengetahui kemampuan bata ringan dalam meredam suara pada frekuensi 120–4000 Hz. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Pengujian Sifat Akustik

Sampel	x (m)	Frekuensi (Hz)	L0 (dB)	L1 (dB)	Koefisien Suara	Rata Rata (α)
0A0S	0.75	120	89.4	52.0	0,72	0,66
	0.75	250	79.7	55.5	0,48	
	0.75	500	93.3	59.4	0,60	
	0.75	1000	99.3	59.6	0,68	
	0.75	2000	100.2	60.2	0,68	
	0.75	4000	112.2	62.0	0,79	
7A1S	0.75	120	89.4	51.2	0,74	0,70
	0.75	250	79.7	52.0	0,57	
	0.75	500	93.3	53.6	0,74	
	0.75	1000	99.3	59.0	0,69	
	0.75	2000	100.2	59.2	0,70	
	0.75	4000	112.2	64.0	0,75	
7A3S	0.75	120	89.4	51.6	0,73	0,68
	0.75	250	79.7	53.2	0,54	
	0.75	500	93.3	55.0	0,70	
	0.75	1000	99.3	59.1	0,69	
	0.75	2000	100.2	60.9	0,66	
	0.75	4000	112.2	63.0	0,77	
7A5S	0.75	120	89.4	49.9	0,78	0,78
	0.75	250	79.7	50.2	0,62	
	0.75	500	93.3	51.0	0,81	
	0.75	1000	99.3	53.3	0,83	
	0.75	2000	100.2	55.0	0,80	
	0.75	4000	112.2	59.6	0,84	
7A7S	0.75	120	89.4	58.8	0,56	0,68
	0.75	250	79.7	53.0	0,54	
	0.75	500	93.3	58.1	0,63	
	0.75	1000	99.3	60.6	0,66	
	0.75	2000	100.2	54.0	0,82	
	0.75	4000	112.2	58.0	0,88	



Gambar 4.7. Grafik Pengujian Sifat Akustik

Berdasarkan Tabel 4.11, nilai koefisien serap suara rata-rata berbeda pada setiap variasi campuran. Semakin tinggi nilai koefisien serap suara, semakin baik kemampuan bata ringan dalam menyerap atau meredam gelombang suara. Variasi 7A5S memperoleh nilai koefisien serap suara tertinggi, yaitu 0,78, sedangkan variasi kontrol (0A0S) memiliki nilai sebesar 0,66. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan abu batang jagung sebesar 7% dan serat batang jagung sebesar 5% mampu meningkatkan kemampuan peredaman suara dibandingkan variasi lainnya. Kondisi tersebut diduga terjadi karena penambahan serat membentuk lebih banyak rongga di dalam material sehingga gelombang suara yang masuk dapat lebih mudah diserap dan kehilangan energinya (Lestari et al., 2022).

Akan tetapi, ketika kadar serat ditingkatkan menjadi 7%, nilai koefisien serap suara turun menjadi 0,68. Penurunan ini diduga terjadi karena jumlah serat yang terlalu banyak menyebabkan penyebaran serat di dalam campuran menjadi kurang merata. Akibatnya, sebagian serat menggumpal dan membentuk pori yang tidak seragam sehingga kemampuan bata ringan dalam menyerap gelombang suara menjadi berkurang. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan serat tidak selalu meningkatkan kinerja akustik. Pada penelitian ini, kadar serat sebesar 5% memberikan kemampuan peredaman suara yang paling baik, sedangkan penambahan hingga 7% justru menurunkan nilai koefisien serap suara. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Boufi dan Chaker (2016) yang menyatakan

bahwa serat alami berbasis selulosa dapat meningkatkan koefisien absorpsi suara apabila digunakan pada kadar yang optimum.

Secara keseluruhan, penambahan abu batang jagung dan serat batang jagung memengaruhi kinerja akustik bata ringan. Variasi 7A5S memberikan nilai koefisien serap suara tertinggi sehingga memiliki kemampuan peredaman suara terbaik dibandingkan variasi lainnya. Namun, penambahan serat hingga 7% tidak lagi meningkatkan kemampuan serap suara, yang menunjukkan bahwa terdapat kadar serat tertentu yang memberikan kinerja akustik paling optimal.

4.6 Analisis Harga Pembuatan per Satuan

Untuk mengetahui kelayakan ekonomi, dilakukan analisis biaya pembuatan bata ringan per buah (ukuran $60 \times 20 \times 7,5$ cm). Perhitungan meliputi biaya bahan baku, tenaga kerja, dan overhead sederhana. Harga bahan diambil berdasarkan harga pasar Semarang tahun 2026. Sebagai contoh, berikut merupakan perhitungan biaya produksi pada variasi 7A1S.

1. Biaya semen

$$\begin{aligned}\text{Biaya Semen} &= \text{Kebutuhan Semen} \times \text{Harga Satuan Semen} \\ &= 5,73 \text{ kg} \times \text{Rp}300/\text{kg} \\ &= \text{Rp}1.720\end{aligned}$$

2. Biaya pasir

$$\begin{aligned}\text{Biaya Pasir} &= \text{Kebutuhan Pasir} \times \text{Harga Satuan Pasir} \\ &= 16,32 \text{ kg} \times \text{Rp}38/\text{kg} \\ &= \text{Rp}620\end{aligned}$$

3. Biaya abu batang jagung

Abu batang jagung merupakan limbah pertanian yang diperoleh tanpa biaya pembelian sehingga tidak menambah biaya bahan baku.

$$= \text{Rp}0$$

4. Biaya serat batang jagung

Serat batang jagung diperoleh dari limbah pertanian sehingga tidak dikenakan biaya bahan baku.

$$= Rp0$$

5. Biaya air

Biaya air sebesar:

$$= Rp10$$

5. Biaya foam agent dan air

Biaya penggunaan foam agent dan air sebesar:

$$= Rp280$$

Total Biaya = Biaya Semen + Biaya Pasir + Biaya Abu + Biaya Serat + Biaya

Foam Agent dan Air

$$=Rp1.720+Rp620+Rp0+Rp0+Rp10+Rp280$$

$$=Rp2.630/bata$$

Hasil perhitungan biaya produksi untuk seluruh variasi campuran disajikan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12. Perbandingan Biaya Pembuatan per Bata Ringan (60×20×7,5 cm)

Variasi	Semen (Rp)	Pasir (Rp)	Abu (Rp)	Serat (Rp)	Air (Rp)	Foam Agent (Rp)	Air Foam (Rp)	Total Biaya per Bata (Rp)	Selisih dengan Kontrol (%)
0A0S (Kontrol)	1.850	650	0	0	10	180	100	2.790	–
7A1S	1.720	620	0	0	10	180	100	2.630	-5,76
7A3S	1.720	590	0	0	10	180	100	2.600	-6,83
7A5S	1.720	560	0	0	10	180	100	2.570	-7,91
7A7S	1.720	530	0	0	10	180	100	2.540	-8,99

Berdasarkan Tabel 4.12, biaya produksi bata ringan mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya kadar substitusi abu batang jagung terhadap pasir. Variasi 7A7S menghasilkan biaya produksi terendah, yaitu sebesar Rp2.530 per bata, atau lebih rendah 8,99% dibandingkan dengan variasi kontrol (0A0S).

Penurunan biaya produksi tersebut dipengaruhi oleh penggunaan abu dan serat batang jagung sebagai limbah pertanian yang tidak memerlukan biaya bahan baku, sehingga dapat menggantikan sebagian penggunaan pasir yang memiliki nilai ekonomi. Selain itu, semakin besar proporsi substitusi abu batang jagung, semakin sedikit kebutuhan pasir dalam campuran, sehingga biaya material menjadi lebih rendah.

Meskipun variasi 7A7S memberikan biaya produksi paling ekonomis, hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi 7A1S merupakan komposisi yang paling optimal. Variasi ini menghasilkan biaya produksi sebesar Rp2.620 per bata, atau lebih rendah 5,76% dibandingkan variasi kontrol. Selain mampu menekan biaya produksi, variasi 7A1S juga memberikan kinerja teknis yang lebih baik berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, densitas, daya serap air, dan kinerja akustik.

Hasil analisis biaya menunjukkan bahwa pemanfaatan abu dan serat batang jagung sebagai bahan substitusi dalam pembuatan bata ringan tidak hanya memberikan manfaat dari aspek ekonomi melalui penurunan biaya produksi, tetapi juga mampu menghasilkan material dengan karakteristik yang memenuhi persyaratan teknis. Dengan demikian, bata ringan berbasis limbah batang jagung berpotensi untuk dikembangkan sebagai material bangunan yang lebih ekonomis, ramah lingkungan, dan memiliki nilai tambah melalui pemanfaatan limbah pertanian.

4.7 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu dan serat batang jagung memengaruhi sifat fisik, mekanis, dan akustik bata ringan. Variasi 7A1S (7% abu + 1% serat) menghasilkan daya serap air terendah serta kuat tekan tertinggi, yaitu 4,67 MPa pada umur 7 hari dan 6,84 MPa pada umur 28 hari. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa penambahan 7% abu batang jagung dan 1% serat batang jagung memberikan kombinasi yang paling baik dibandingkan variasi lainnya. Penggunaan abu batang jagung diduga berkontribusi terhadap perbaikan struktur material, sedangkan penambahan serat sebesar 1% masih dapat terdistribusi dengan baik tanpa meningkatkan porositas secara signifikan.

Ketika kadar serat ditingkatkan menjadi 3%, 5%, dan 7%, densitas cenderung menurun, daya serap air meningkat, dan kuat tekan ikut menurun akibat bertambahnya pori di dalam bata ringan (Sudarno et al., 2023; Meliyana et al., 2019). Sebaliknya, peningkatan porositas pada kadar serat tertentu mampu meningkatkan kemampuan bata ringan dalam menyerap suara. Variasi 7A5S menghasilkan koefisien serap suara tertinggi, sedangkan pada variasi 7A7S nilainya

kembali menurun. Kondisi ini diduga disebabkan oleh penambahan serat yang terlalu tinggi sehingga distribusi serat di dalam campuran menjadi kurang merata.

Secara keseluruhan, variasi 7A1S memberikan kinerja terbaik dari aspek densitas, daya serap air, dan kuat tekan, sedangkan variasi 7A5S memberikan kinerja akustik terbaik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi abu dan serat batang jagung berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan tambah pada bata ringan tipe *Cellular Lightweight Concrete* (CLC), dengan komposisi penambahan yang disesuaikan dengan sifat material yang ingin ditingkatkan. Selain meningkatkan nilai guna limbah pertanian, pemanfaatan batang jagung juga berpotensi menjadi alternatif bahan tambah yang lebih ramah lingkungan dalam pengembangan bata ringan.