

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bata ringan

Penggunaan bata ringan kini kian masif, mulai dari proyek residensial hingga pembangunan gedung bertingkat tinggi (*high-rise building*), berkat efisiensi waktu pelaksanaan dan optimalisasi biaya konstruksi yang ditawarkannya. Namun, untuk memahami alasan material ini menjadi preferensi utama dalam struktur modern, diperlukan analisis yang lebih mendalam mengenai karakteristik teknisnya.

2.1.1 Pengertian Bata Ringan

Berdasarkan SNI 8640-2018, bata ringan didefinisikan sebagai material dinding berbentuk balok dengan karakteristik fisik berupa volume yang besar namun memiliki massa yang ringan. Pada dasarnya bata ringan merupakan material bangunan berbentuk balok dengan penampang prisma siku, bata ringan dirancang dengan dimensi yang lebih besar daripada bata merah. Di samping itu, rendahnya bobot isi material ini dibandingkan bata beton maupun beton konvensional menjadikannya lebih ringan, sehingga proses pemasangan dapat dilakukan dengan lebih praktis dan efisien. Secara umum, bata ringan memiliki berat isi berkisar antara 400–1.400 kg/m³. Proses pembuatannya dapat dilakukan melalui metode pencetakan maupun pemotongan sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan oleh produsen.

Menurut SNI 8640-2018, Bata ringan secara umum dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) dan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC). Pada bata ringan jenis AAC, pori-pori udara terbentuk akibat reaksi bahan pengembang yang ditambahkan ke dalam campuran beton segar. Selanjutnya, material diproses melalui proses autoclaving, yaitu proses perawatan menggunakan autoklaf pada kondisi suhu dan tekanan tinggi. Perlakuan tersebut menghasilkan bata ringan dengan struktur yang lebih homogen, kuat, dan memiliki berat yang relatif ringan. Berbeda dengan AAC, bata ringan CLC diproduksi dengan menambahkan busa yang dihasilkan oleh foam generator ke dalam campuran mortar yang telah dicampur terlebih dahulu. Keberadaan busa tersebut membentuk

rongga-rongga udara di dalam material sehingga menghasilkan beton ringan tanpa memerlukan proses autoklaf. Perbedaan utama kedua jenis bata ringan tersebut terletak pada proses pembentukan pori-pori udara dan metode pengerasannya, di mana *AAC* menggunakan reaksi kimia dan proses autoklaf, sedangkan *CLC* memanfaatkan busa yang telah terbentuk tanpa melalui proses autoklaf.

Pada penelitian ini akan dibuat bata ringan jenis *CLC*, yaitu konsep pembuatan bata ringan yang bekerja dengan cara penambahan *foam* untuk membuat buih udara yang mana nantinya akan bercampur dengan adonan semen, pasir, dan air sehingga didapatkan adonan yang lebih ringan. Pada gambar 2.1 ditampilkan ilustrasi bata ringan sebagai berikut,



Gambar 2. 1 Bata ringan

(Sumber : Google Search)

2.1.2 Klasifikasi Bata ringan

Dalam perencanaan pembuatannya, bata ringan memiliki beberapa kelas. Bata ringan tidak diaplikasikan secara seragam untuk semua bagian bangunan. Pemilihan jenis bata ringan harus disesuaikan secara spesifik dengan beban yang akan dipikul serta kondisi lingkungan tempat material tersebut dipasang.

Berdasarkan SNI 8640-2018 mengenai standard Bata Ringan untuk Pasangan Dinding, menurut fungsinya bata ringan terbagi menjadi 2 antara lain:

1. Struktural

Bata ringan struktural sebagai contoh adalah penggunaan bata ringan sebagai pengganti fungsi kolom dalam menahan beban bangunan, hingga maksimum 2 lantai dengan memperhatikan daya dukung yang diijinkan. Ini disebut bata ringan kelas I.

2. Nonstruktural (*non load bearing*)

Bata ringan non-struktural atau disebut sebagai bata ringan kelas II. Sebagai contoh adalah penggunaan bata ringan sebagai pasangan dinding.

Berdasarkan SNI 8640-2018, menurut lingkungan yang dihadapi oleh bata ringan terbagi menjadi 2 antara lain:

1. Outdoor

Bata ringan yang penggunaannya terekspos dan berhubungan langsung dengan cuaca sehingga langsung terkena kondisi basah, contoh untuk kamar mandi atau biasa disebut golongan A.

2. Indoor

Bata ringan yang penggunaannya tidak terekspos atau tidak berhubungan langsung dengan cuaca atau lingkungan luar sehingga kondisi kering atau biasa disebut golongan B.

2.1.3 Persyaratan Mutu Bata ringan

Persyaratan mutu merupakan acuan standar yang menetapkan batasan minimum karakteristik fisis dan mekanis suatu bahan bangunan guna menjamin keandalan strukturnya. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai standarisasi mutu ini menjadi acuan penting dalam proses perencanaan, pengujian, hingga pengawasan mutu material sebelum diaplikasikan pada konstruksi nyata. SNI 8640-2018 memberikan pedoman teknis terkait persyaratan ukuran fisik bata ringan yang harus dipatuhi.

A. Dimensi Bata Ringan

Dimensi bata ringan telah diatur dalam SNI 8640-2018 beserta dengan jumlah toleransi yang diijinkan dan variasi tebalnya pada tabel 2.1 sebagai berikut,

Tabel 2. 1 Persyaratan dimensi bata ringan

Ukuran (mm)			Toleransi (mm)
Panjang	Lebar	Tebal	
600+3	200+3	75	±2
-5	-5	100	
		125	
		150	

Sumber : SNI 8640-2018, SNI 03-0349-1989

Berdasarkan tabel 2.1, tebal bata ringan bervariasi guna menyesuaikan dengan aplikasi penggunaannya. Sedangkan toleransi tersebut dicapai dan dapat disesuaikan setelahnya dalam pengaplikasian plesteran.

Pada penelitian ini, bata ringan yang direncanakan memiliki dimensi $60 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$. Dimensi tersebut ditetapkan sebagai ukuran benda uji dalam proses patokan standar pembuatan dan pengujian, sehingga menggunakan bentuk kubus 15 cm .

B. Berat Bata Ringan

Mengacu pada regulasi teknis yang tertuang dalam SNI 8640-2018, terdapat standarisasi yang mengatur batasan berat isi kering untuk setiap jenis bata ringan yang diproduksi. Adapun rincian mengenai pembagian kategori berat bata ringan tersebut dipaparkan dalam tabel 2.2 berikut,

Tabel 2. 2 Persyaratan mutu berat bata ringan

	Kategori berat	Bata Struktural		Bata Non Struktural	
		Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor
		IA	IB	IIA	IIB
Kelas Bobot isi kering oven (kg/m^3)	500			400-600	
	700		600-800	600-800	
	900	800-1000	800-1000	800-1000	
	1100	1000-1200	1000-1200	1000-1200	
	1300	1200-1400	1200-1400	1200-1400	

Sumber : SNI 8640-2018

Pada penelitian ini ditetapkan target bobot isi bata ringan sebesar 1.100 kg/m^3 . Nilai tersebut berada dalam rentang bobot isi bata ringan, yaitu $1000\text{--}1200 \text{ kg/m}^3$. Bobot isi tersebut dipilih sebagai acuan dalam proses pembuatan *jobmix* dan pengujian benda uji.

C. Syarat Fisis Bata Ringan

Ditinjau dari aspek fungsionalitas serta kondisi lingkungan penggunaannya, SNI 8640-2018 telah menetapkan serangkaian parameter fisis yang wajib dipenuhi oleh setiap unit bata ringan. Adapun rincian mengenai persyaratan fisis tersebut secara komprehensif dijabarkan melalui tabel 2.3 berikut ini,

Tabel 2. 3 Persyaratan sifat fisis bata ringan

Syarat Fisis	Satuan	Bata Struktural		Bata Non Struktural	
Kelas	-	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor
		IA	IB	IIA	IIB
Kuat Tekan rata rata, min	MPa	6	4		2
Kuat Tekan individu, min	MPa	5.4	3.6		1.8
Penyerapan air, max	%Vol	25	-	25	-
Tebal, min	mm	98		98	73
Susut pengeringan, max	%			0.2	

Sumber : SNI 8640-2018, ASTM C1693, ASTM C869, ACI 532.2

Pada penelitian ini ditetapkan target bata ringan yaitu kategori non-struktural sehingga persyaratan kuat tekan bata ringan lebih dari 2 Mpa dan dengan penyerapan air kurang dari 25%.

2.2 Bahan Penyusun Bata ringan

Bahan penyusun beton sangat memengaruhi kualitasnya, dan berikut adalah penjelasan bahan penyusunnya,

2.2.1 Semen PCC (*Portland Composite Cement*)

Semen portland adalah bahan pengikat hidrolis yang diproduksi melalui proses penghalusan klinker semen dengan penambahan satu atau lebih senyawa kalsium sulfat. Dalam bidang konstruksi, material ini merupakan komponen utama dalam pembuatan beton. Persyaratan mutu dan spesifikasi semen portland diatur dalam SNI 2049:2015. Berdasarkan fungsi dan peruntukannya, semen portland diklasifikasikan menjadi beberapa tipe 5 kategori, yaitu:

- Jenis I: Semen portland umumnya digunakan dan tidak memerlukan persyaratan penggunaan khusus untuk jenis semen ini.
- Jenis II: Semen portland jenis ini merupakan semen yang tahan terhadap kalor hidrasi kadar sedang seperti sulfat di dalam penggunaannya
- Jenis III: Semen portland umumnya merupakan memiliki kekuatan yang tinggi dimana pemanfaatannya membutuhkan waktu yang lebih singkat tanpa mengurangi mutu semen portland.

- d. Jenis IV: Semen portland umumnya berguna untuk Bangunan dengan persyaratan kalor hidrasi yang rendah dapat menggunakan semen Portland jenis ini.
- e. Jenis V : Semen portland jenis ini merupakan semen yang memiliki mutu, kekuatan, dan kualitas yang tinggi jika terkena paparan sulfat.

Pada penelitian ini digunakan semen PCC dengan alasan semen bahwa semen jenis PCC menghasilkan campuran beton yang lebih plastis dan lekat. Hal ini membuat adukan menjadi lebih halus, lebih mudah dituang dan diratakan, sehingga risiko terjadinya keropos pada beton bisa diperkecil.

Berdasarkan SNI 7064-2014 Semen portland komposit didefinisikan sebagai zat pengikat hidrolis yang diproduksi Proses pembuatan semen jenis ini dilakukan dengan menggiling klinker semen portland bersama gips dan sedikitnya satu jenis material anorganik. Selain itu, semen tersebut juga dapat diperoleh melalui pencampuran bubuk semen portland dengan berbagai bahan anorganik dalam bentuk serbuk. Material anorganik yang lazim digunakan meliputi *blast furnace slag*, *pozzolanik*, senyawa silikat, dan batu kapur, dengan kadar penambahan berkisar 6–35% dari keseluruhan berat semen.

Tabel 2. 4 Syarat Fisika Semen PCC

No	Uraian	Satuan	Persyaratan
1	Kehalusan dengan alat Blaine	m ² /kg	min. 280
	Kekekalan bentuk dengan <i>autoclave</i> :		
2	- pemuaian	%	maks. 0,80
	- penyusutan	%	maks. 0,20
	Waktu pengikatan dengan alat Vicat:		
3	- Pengikatan awal	menit	min. 45
	- Pengikatan akhir	menit	maks. 375
	Kuat tekan:		
4	- Umur 3 hari	kg/cm ²	min. 130
	- Umur 7 hari	kg/cm ²	min. 200
	- Umur 28 hari	kg/cm ²	min. 280

Lanjutan Tabel 2. 4 Syarat Fisika Semen PCC

No	Uraian	Satuan	Persyaratan
5	Pengikatan semu: - penetrasi akhir	%	min. 50
6	Kandungan udara dalam mortar	% volume	maks. 12

Sumber : SNI 7064-2014

Data parameter yang tercantum pada Tabel 2.4 di atas digunakan sebagai dasar acuan normatif dalam melakukan pengujian karakteristik material semen. Pengujian tersebut wajib dilakukan terlebih dahulu guna memastikan mutu bahan pengikat sebelum melangkah ke tahap fabrikasi atau pembuatan sampel benda uji. Berikut gambar semen PCC dapat ditampilkan pada Gambar 2.2 sebagai berikut,

**Gambar 2. 2** Semen *PCC*

2.2.2 Air

SNI 7974:2013 adalah standar nasional yang menetapkan spesifikasi dan kriteria kelayakan air yang akan digunakan sebagai bahan pencampur dalam produksi beton maupun mortar. Standar ini bertujuan untuk menjamin bahwa air yang digunakan tidak memberikan dampak negatif terhadap proses pengikatan semen, perkembangan kuat tekan beton, maupun keawetan jangka panjang struktur. Merujuk pada ketentuan dalam SNI 7974-2013, terdapat beberapa definisi krusial terkait klasifikasi air yang digunakan dalam proses produksi beton semen hidraulis. Dalam standar tersebut, air pencampur dapat berasal dari berbagai sumber. Selain itu, dikenal pula istilah kombinasi air yang merupakan hasil pencampuran homogen dari berbagai sumber air, serta air sisa produksi yang mencakup air bekas pencucian

alat maupun air hujan yang tertampung di fasilitas produksi. Untuk menjaga stabilitas reaksi kimia, standar ini juga mengatur penggunaan bahan tambahan penstabil hidrasi yang berfungsi memperlambat waktu pengikatan semen, baik pada campuran beton baru maupun pada penggunaan kembali air sisa produksi.

Standardisasi mengenai air pencampur beton diatur dalam SNI 7974:2013, yang menetapkan spesifikasi kelayakan air demi menjaga kualitas fisik dan ketahanan jangka panjang beton. Secara umum, standar ini menggarisbawahi bahwa air yang layak konsumsi (air minum) dapat langsung digunakan tanpa memerlukan pengujian laboratorium lebih lanjut. Namun, jika menggunakan sumber air lain, air tersebut harus lolos batasan kontaminan kimia, seperti kadar klorida maksimal 500 hingga 1000 ppm untuk mencegah korosi pada tulangan, serta kadar sulfat maksimal 3000 ppm guna menghindari kerusakan akibat reaksi ekspansif. Selain itu, aspek fisik juga diatur dengan mensyaratkan bahwa kuat tekan mortar yang dihasilkan harus mencapai minimal 90% pada umur 7 hari, dengan toleransi perubahan waktu ikat awal antara 1 jam lebih cepat hingga 1,5 jam lebih lambat dibandingkan dengan penggunaan air suling.

2.2.3 Agregat Halus

Berdasarkan spesifikasi standar nasional, agregat halus yang ideal harus memenuhi parameter fisik dan tingkat kebersihan yang ketat. Kriteria tersebut meliputi pembagian gradasi pasir ke dalam empat zona modulus kehalusan serta pembatasan kadar lumpur maksimal sebesar 5,0% agar tidak menurunkan daya rekat semen (SNI 03-2834-2000). Selain itu, agregat halus wajib bebas dari kandungan bahan organik berlebih yang diuji menggunakan larutan NaOH 3% dengan indikator warna tidak boleh lebih tua dari standar pembanding (SNI 03-2816-1992). Dari segi durabilitas, material pasir disyaratkan memiliki nilai susut maksimal 12% pada uji kekekalan natrium sulfat, memiliki berat jenis SSD antara 2,5 hingga 2,7, serta nilai penyerapan air maksimal 3% demi menjaga stabilitas kebutuhan air pengaduk dalam campuran beton (SNI 03-6821-2002).

Menurut SNI S-04-1989-F tahun 1989, persyaratan agregat untuk bahan bangunan adalah sebagai berikut adapun Agregat halus memiliki ukuran paling besar adalah 4,75 mm. Dimana agregat ini memiliki persyaratan, yaitu:

1. Butir-butirnya memiliki ketajaman dan kekerasan yang tinggi, dengan indeks kekerasan paling tinggi 2,2
2. Tidak pecah atau hancur oleh cuaca seperti hujan dan panas matahari
3. Tidak terdapat lebih banyak dari 5% lumpur (butiran halus yang tersisa setelah penyaringan dengan ayakan 0,06 mm).
4. Tidak terkandung zat organik yang berlebihan, sebagaimana terlihat dari hasil percobaan warna memakai larutan 3% NaOH.
5. Modulus kehalusan butir berada antara 1,50-3,80 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
6. Agregat halus yang diperoleh dari sumber air laut atau pantai dapat dimanfaatkan, asalkan mendapatkan izin dari lembaga yang berwenang dalam pemeriksaan material. Berikut adalah contoh gambar agregat halus dapat ditampilkan pada Gambar 2.3 sebagai berikut,



Gambar 2. 3 Agregat Halus

2.2.4 *Foaming Agent*

Menurut standar SNI 8640-2018 menurut pengaplikasiannya, *foam agent* adalah bahan tambahan bersifat cairan kental yang harus diencerkan dengan air dan dialirkan melalui alat pembuat busa (*foam generator*) untuk menghasilkan busa mekanis yang stabil. Busa yang dihasilkan ini berfungsi sebagai media untuk membungkus dan menciptakan rongga-rongga udara mikro yang tersebar merata di dalam campuran pasta semen, sehingga dapat menurunkan berat jenis material tanpa menghilangkan kemampuan mengerasnya.

Pada penelitian ini pembuatan *foam* dilakukan dengan mengaduk campuran *foam agent* dan air pencampur dengan bor pengaduk dengan kecepatan tinggi

sehingga menghasilkan busa yang padat dan stabil, dalam hal ini kaku dan tidak cair.

Foaming agent berperan sebagai agen pengembang melalui reaksi kimia kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) atau kapur non-aktif saat bercampur dengan air dan material lainnya. Reaksi ini menghasilkan gas hidrogen yang memicu ekspansi volume adonan bata ringan hingga dua kali lipat dari ukuran semula. Proses tersebut menciptakan gelembung udara dengan diameter melebihi 1/8 inci, yang secara efektif mempercepat pengembangan adonan sekaligus menurunkan berat jenis material (Taufik dkk., 2017). Berikut *foam agent* ditampilkan pada Gambar 2.4 sebagai berikut,



Gambar 2. 4 *Foam Agent*

2.3 Arang Tempurung Kelapa

Arang Tempurung kelapa adalah salah satu limbah organik hasil proses pembakaran tempurung kelapa yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan dalam bidang konstruksi. Secara fisik, arang tempurung kelapa memiliki tekstur berpori, ringan, serta memiliki ukuran butiran yang dapat disesuaikan melalui proses penghancuran dan pengayakan, sehingga memungkinkan untuk menggantikan sebagian fungsi pasir dalam campuran. Silikat (SiO_2) yang sedikit tinggi pada struktur tempurung kelapa menyebabkan struktur yang keras dan padat dan digunakan sebagai pengganti agregat pada beton (D. Riyanto dkk., 2018).

Penelitian oleh D. Riyanto dkk., (2018) menunjukkan bahwa penggunaan arang tempurung kelapa sebagai substitusi agregat halus dengan variasi 7,5%, 10%, dan 12,5% memberikan pengaruh terhadap kuat tekan beton. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa nilai kuat tekan optimum diperoleh pada kadar 7,5%, sedangkan pada kadar yang lebih tinggi mulai terjadi penurunan kekuatan. Hal ini

disebabkan oleh meningkatnya porositas dalam campuran akibat sifat arang yang lebih ringan dan kurang padat dibandingkan pasir alami. Hasil serupa juga ditemukan pada penelitian oleh Sihombing dkk., (2018) yang menyatakan bahwa penggunaan arang tempurung kelapa sebesar 7,5% mampu meningkatkan kuat tekan mortar secara signifikan dibandingkan campuran normal. Namun, peningkatan kadar arang yang lebih tinggi tidak selalu memberikan hasil yang lebih baik, karena dapat mengurangi kepadatan struktur material.

Selain itu, penelitian oleh Artika dkk., (2021) menunjukkan bahwa penggunaan arang tempurung kelapa pada kadar 10% hingga 15% justru menyebabkan penurunan kuat tekan beton secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar persentase substitusi arang tempurung kelapa, maka semakin rendah nilai kuat tekan yang dihasilkan. Penurunan ini disebabkan oleh sifat arang yang memiliki daya serap air tinggi dan struktur berpori, sehingga dapat meningkatkan rongga dalam campuran beton dan mengurangi ikatan antar material.

Arang tempurung kelapa merupakan produk sampingan dari pirolisis tempurung kelapa, berpori, ringan, dan stabil secara kimia. Ketika digunakan sebagai agregat halus dalam beton, arang ini dapat meningkatkan beberapa sifat daya tahan, termasuk ketahanan termal dan daya serap. Selain mengurangi sampah, mengubah tempurung kelapa menjadi arang untuk pembuatan beton juga meningkatkan keberlanjutan. Karena bobotnya yang ringan, ketahanan panas yang tinggi, dan kemampuannya yang terbukti meningkatkan kualitas mekanik spesifik beton, arang tempurung kelapa dapat dimanfaatkan sebagai substitusi agregat halus dalam beton. Secara keseluruhan, arang tempurung kelapa mendukung pembuatan beton berkelanjutan dengan menggunakan limbah pertanian tanpa penurunan kinerja yang signifikan. Dari sudut pandang implementasi, studi ini menawarkan inovasi yang dapat diterapkan untuk menggabungkan komponen pengganti dalam beton, termasuk mengurangi ketergantungan pada sumber daya lingkungan seperti pasir sungai. Selain itu, integrasi bahan daur ulang ini juga mendukung tujuan lingkungan global dengan mendorong penggunaan kembali sumber daya (Parvathikumar dkk., 2025). Arang tempurung kelapa dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut,



Gambar 2. 5 Arang Tempurung Kelapa

2.4 Abu Tempurung Kelapa

Abu tempurung kelapa didapat setelah proses pembakaran tempurung secara sempurna. Proses ini menghasilkan karbon yang terurai sempurna dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin pada suhu tinggi (Widari & Debrina, 2015). Selain karbon, abu dari tempurung kelapa juga mengandung silika yang berfungsi sebagai bahan tambahan *pozzolanik*, dengan kepadatan sebesar $2,05 \text{ g/cm}^3$, sehingga termasuk dalam kategori *fly ash* (Hardini dkk., 2021). Komposisi kimia abu dari pembakaran biomassa diketahui menyerupai *fly ash* (D. Riyanto dkk., 2018), menjadikannya kandidat substitusi semen yang menjanjikan sekaligus solusi atas keterbatasan *fly ash* konvensional.

Menurut Santosa dkk., (2023) kadar 10% abu tempurung kelapa untuk menggantikan semen, beton dapat dibuat lebih kuat dan lebih murah. Studi ini menemukan bahwa abu tempurung kelapa dan debu batu dapat digunakan sebagai pengganti semen dalam proporsi 10% menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam kekuatan tekan beton. Penggunaan abu tempurung kelapa dengan tambahan *superplasticizer* dapat meningkatkan kuat tekan beton secara signifikan.

Hasil oksida yang terbentuk dari senyawa kimia abu arang tempurung kelapa mengandung banyak senyawa seperti oksida, silikon oksida, aluminium trioksida, dan oksida besi. Yang dimana senyawa ini terdapat pada bahan baku semen Portland (Langitan dkk., 2022).

Tabel 2. 5 Senyawa yang terdapat pada abu arang tempurung kelapa

Senyawa Kimia	Abu Tempurung Kelapa
SiO ₂	22.30
Fe ₂ O ₃	5.11
CaO	9.65
P ₂ O ₅	1.07
MgO	13.66
K ₂ O	42.6

(Sumber: FMIPA UNHAS, Lab Penelitian dan Pengembangan Sains)

Berdasarkan hasil analisis kimia yang ditunjukkan pada Tabel 2.4, abu tempurung kelapa mengandung beberapa senyawa oksida utama seperti SiO₂, CaO, Fe₂O₃, MgO, P₂O₅, dan K₂O yang berperan penting dalam menentukan karakteristik material. Kandungan silika (SiO₂) sebesar 22,30% menunjukkan bahwa abu tempurung kelapa memiliki sifat *pozzolanik*, yaitu kemampuan untuk berinteraksi dengan kalsium hidroksida hasil proses hidrasi semen dan menghasilkan kalsium silikat hidrat (C-S-H). Terbentuknya senyawa ini membantu memperbaiki struktur mikro pasta semen sehingga kuat tekan material mengalami peningkatan. Di samping itu, kandungan CaO sebesar 9,65% turut mendukung proses hidrasi meskipun dalam jumlah yang lebih rendah dibandingkan semen *PCC*, sehingga penggunaannya lebih tepat sebagai substitusi parsial. Kandungan MgO sebesar 13,66% berpotensi meningkatkan kekuatan jangka panjang, namun perlu dikontrol karena dapat menyebabkan ekspansi jika berlebihan. Sementara itu, tingginya kandungan K₂O sebesar 42,6% menunjukkan adanya senyawa alkali yang dapat mempengaruhi reaksi kimia dalam campuran, sehingga penggunaannya harus dibatasi agar tidak menimbulkan efek negatif terhadap durabilitas material.

Selain itu, penelitian oleh Hardini dkk., (2021) yang secara khusus mengkaji bata ringan menunjukkan bahwa penambahan abu tempurung kelapa dengan variasi hingga 10% dapat meningkatkan kuat tekan bata ringan. Namun, seperti halnya pada beton, peningkatan kadar yang berlebihan menyebabkan penurunan kekuatan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan abu tempurung kelapa harus dikontrol dalam batas tertentu agar tetap memberikan efek positif.

Abu tempurung kelapa dapat dianggap sebagai material pozolan karena mengandung SiO_2 , dan ia hanya akan bereaksi dengan air jika terdapat Ca(OH)_2 . Abu tempurung kelapa memiliki kandungan SiO_2 yang lebih sedikit dibandingkan semen. Oleh karena itu, kontribusinya dalam pembentukan gel *Calcium Silicate Hydrate* lebih kecil daripada semen, sehingga semakin besar persentase abu tempurung kelapa, maka dapat menurunkan kekuatan beton. Biasanya, keberadaan Ca(OH)_2 dapat meningkatkan makroporositas (pori-pori besar) pada pasta semen di dalam beton. Namun, pembentukan Ca(OH)_2 oleh abu tempurung kelapa sendiri bisa diabaikan karena jumlah kandungan CaO yang sangat kecil. Sehingga, abu tempurung kelapa membantu mengurangi makroporositas beton melalui reaksi pozolanik dengan Ca(OH)_2 yang dihasilkan dari proses hidrasi semen. Abu tempurung kelapa memiliki distribusi ukuran partikel yang luas sehingga memiliki potensi sebagai *micro-filler* yang mampu mengisi rongga antar partikel lebih baik daripada semen serta berkontribusi dalam reaksi *pozzolanik* yang menghasilkan gel kalsium silikat hidrat (C-S-H), sehingga meningkatkan kerapatan dan kekuatan tekannya (Ranatunga dkk., 2023). Dokumentasi abu tempurung kelapa pada gambar 2.6 sebagai berikut,



Gambar 2. 6 Abu Tempurung Kelapa

2.5 Pengujian Material

Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh data dasar mengenai properti fisik dan mekanis masing-masing agregat serta bahan pengikat yang digunakan. Pemahaman yang komprehensif terhadap sifat-sifat material ini sangat penting untuk memprediksi interaksi antar-komponen selama proses hidrasi dan pengikatan, sehingga potensi optimasi campuran dapat diidentifikasi demi mencapai performa material akhir yang unggul dan efisien.

2.5.1 Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus merupakan tahapan penting untuk mengevaluasi sifat fisis dan mekanis butiran pasir. Karakteristik agregat halus, seperti gradasi butiran, kadar lumpur, berat jenis, kadar organik, dan penyerapan air.

A. Uji Kadar Air

Menurut SNI 1970:2008 tentang Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus maka pengujian kadar air agregat halus adalah suatu prosedur laboratorium yang dilakukan untuk menentukan persentase jumlah air yang terkandung di dalam pori maupun di permukaan butiran pasir, dibandingkan dengan massa agregat dalam kondisi kering oven. Kandungan air ini dinyatakan dalam persen dan diperoleh melalui proses pengeringan sampel pada suhu konstan $110 \pm 5^\circ \text{C}$ hingga massanya mencapai kondisi konstan. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kondisi kelembapan aktual dari agregat halus di lapangan.

B. Uji Gradasi Agregat Halus

Menurut SNI ASTM C136:2012 tentang Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar, pengujian analisis saringan agregat halus adalah suatu prosedur laboratorium yang bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butiran (gradasi) dari sampel pasir yang digunakan. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengayak sampel agregat melalui susunan saringan standar dengan ukuran lubang yang semakin mengecil ke bawah, mulai dari ukuran 4,75 mm (No. 4) hingga 0,075 mm (No. 200). Melalui pengujian ini, akan diperoleh nilai Modulus Kehalusan (MK) atau Fineness Modulus (FM) yang menjadi indikator apakah agregat tersebut tergolong halus, agak halus, sedang, atau kasar.

C. Uji Kadar Lumpur

Menurut SNI 03-4142-1996 pengujian kadar lumpur agregat halus adalah suatu prosedur pengujian laboratorium yang bertujuan untuk menentukan persentase kandungan partikel lanau atau lumpur (butiran yang lolos saringan No. 200 atau berukuran kurang dari 0,075 mm yang menyelimuti permukaan agregat halus. Keberadaan lumpur yang berlebihan pada pasir sangat dihindari karena

dapat membentuk lapisan penghalang yang melemahkan ikatan antara pasta semen dengan butiran agregat. Akibatnya, proses hidrasi semen menjadi tidak optimal, yang berpotensi menurunkan kuat tekan akhir material, meningkatkan kebutuhan air pengaduk, serta memicu terjadinya retak susut yang tinggi pada produk beton atau bata ringan setelah mengeras.

D. Uji Berat Jenis

Menurut SNI 1970:2008 pengujian berat jenis dan penyerapan merupakan pengujian fisis untuk mengidentifikasi kerapatan massa butiran pasir serta kemampuan agregat halus tersebut dalam mengikat air di dalam porinya. Karakteristik ini diukur menggunakan bantuan piknometer dengan sampel pasir yang telah mencapai kondisi jenuh kering permukaan atau *Saturated Surface Dry (SSD)*. Di dalam rekayasa bahan, data berat jenis digunakan sebagai parameter dasar untuk menghitung volume absolut agregat dalam adonan.

E. Uji Kadar Organik

Berdasarkan SNI 03-2816-1992, pengujian kadar organik agregat halus adalah suatu prosedur laboratorium yang bertujuan untuk mendeteksi keberadaan senyawa atau zat organik berbahaya yang terkandung di dalam pasir. Pengujian ini bersifat kualitatif dan dilakukan dengan cara mereaksikan sampel agregat halus dengan larutan natrium hidroksida (NaOH) 3% di dalam botol kaca transparan, untuk kemudian diamati perubahan warna larutannya setelah didiamkan selama 24 jam. Keberadaan zat organik yang melebihi ambang batas sangat dihindari karena senyawa organik tersebut dapat bereaksi secara kimiawi dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen. Reaksi ini berpotensi menghambat atau bahkan menghentikan proses pengikatan dan pengerasan semen, meningkatkan risiko porositas, serta menurunkan kuat tekan.

2.5.2 Pengujian Semen

Pengujian semen merupakan tahapan evaluasi laboratorium yang krusial untuk memastikan bahwa bahan pengikat utama yang digunakan memiliki kualitas mekanis dan kimiawi yang stabil. Mengingat semen adalah komponen aktif sebagai

penyedia kekuatan utama material, karakteristik fisisnya akan menentukan perilaku adonan dari fase segar hingga mengeras.

A. Uji Konsistensi Normal

Berdasarkan SNI 03-6826-2002, pengujian konsistensi normal semen adalah prosedur laboratorium yang bertujuan untuk menentukan persentase jumlah air optimum yang dibutuhkan oleh semen untuk membentuk pasta semen dengan tingkat keplastikan tertentu atau kondisi standar normal. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur kedalaman penetrasi plunyer Alat Vicat berdiameter 10 mm ke dalam pasta semen selama 30 detik, di mana konsistensi normal tercapai apabila plunyer menembus sejauh 10 mm di bawah permukaan. Angka konsistensi normal ini sangat krusial karena digunakan sebagai acuan dasar dalam menentukan volume air yang tepat untuk pengujian semen selanjutnya, seperti pengujian waktu ikat dan pengujian kekekalan bentuk, guna memastikan hidrasi semen berlangsung secara sempurna tanpa kelebihan air bebas.

B. Uji Pengikatan Awal

Berdasarkan SNI 03-6827-2002, pengujian waktu ikat awal semen adalah prosedur laboratorium yang bertujuan untuk mengukur durasi waktu yang dibutuhkan oleh pasta semen sejak kontak pertama kali antara semen dengan air pengaduk hingga pasta tersebut mulai kehilangan sifat plastisnya akibat dimulainya reaksi kimia hidrasi. Tingkat kekakuan adonan ini diukur menggunakan Alat Vicat dengan jarum berdiameter 1 mm, di mana kondisi ikat awal dinyatakan tercapai apabila jarum tersebut memberikan penetrasi sebesar 25 mm atau kurang ke dalam pasta semen. Data waktu ikat awal ini memiliki arti praktis yang sangat krusial dalam dunia konstruksi, karena batasan waktu tersebut menetapkan durasi maksimum yang diizinkan untuk proses pencampuran, pengangkutan, penuangan, hingga pemadatan adonan bata ringan di lapangan agar tidak terjadi keretakan struktural akibat adonan yang terlanjur mengeras.

2.6 Pengujian Benda Uji Bata Ringan

Pengujian terhadap benda uji bata ringan merupakan tahapan yang komperensif untuk mengetahui, mengevaluasi, dan memvalidasi karakteristik fisis maupun mekanis dari material yang diteliti. Melalui serangkaian pengujian laboratorium yang terukur, performa aktual dari proporsi campuran bata ringan dapat dikorelasikan secara ilmiah dengan standar regulasi yang berlaku. Proses pengujian ini tidak hanya berfungsi sebagai tolok ukur kualitas mutu material, tetapi juga sebagai instrumen penting untuk menganalisis sejauh mana variasi serta inovasi parameter campuran yang diberikan mampu memengaruhi perilaku struktural material saat menerima beban.

2.6.1 Kuat Tekan

Kualitas tinggi bata ringan ditandai oleh nilai kuat tekan yang tinggi dan nilai absorpsi yang rendah (Putri dkk., 2019). Semakin sedikit persentase porositas dalam bata ringan, semakin tinggi kuat tekannya. Proses pemadatan yang dilakukan secara mekanik membantu mengurangi rongga porositas dalam komponen bata ringan (Yusrianti dkk., 2019)

Menurut SNI 03-1974-1990, kuat tekan didefinisikan sebagai perbandingan antara beban tekan maksimum dengan luas bidang tekan, yang dapat dihitung menggunakan rumus tertentu, berikut :

$$\text{Perumusan kuat tekan} = f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots \text{Pers 2.1}$$

Keterangan:

f'_c : Kuat Tekan (Mpa)

P : Beban tekan (N).

A : Luas bidang tekan (mm^2).

2.6.2 Bobot Isi

Pengujian bobot isi (berat volume) merupakan salah satu parameter krusial untuk mengevaluasi karakteristik fisik bata ringan, karena nilai yang diperoleh berkorelasi langsung dengan beban struktural yang akan ditanggung oleh komponen bangunan. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui rasio antara massa kering

bata ringan terhadap volume total materialnya, termasuk pori-pori yang terbentuk di dalam struktur matriks tersebut.

2.6.3 Penyerapan Air

Bata ringan memiliki kemampuan untuk meloloskan air sekitar 30-50% karena adanya celah pada pemasangannya, sehingga membantu menjaga ketersediaan air tanah (Widari & Debrina, 2015). Berdasarkan SNI 03-0691-1996, daya serap air dapat dihitung menggunakan rumus yang telah ditetapkan:

$$\text{Rumus penyerapan air} = \frac{M_b - M_k}{M_k} \times 100\% \dots\dots\dots \text{Pers 2.2}$$

Keterangan:

Penyerapan Air = (%)

M_b = Berat kondisi basah.

M_k = Berat kondisi kering.

2.7 Kekurangan Bata Ringan

Sebagai material dinding inovatif, bata beton ringan memiliki keterbatasan atau kekurangan atas sifat sifatnya, antara lain:

A. Kuat Tekan yang cenderung rendah.

Bata ringan memiliki sifat mekanis berupa kapasitas kuat tekan yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan material beton atau bata konvensional. Keterbatasan ini membatasi aplikasinya sehingga kurang direkomendasikan untuk elemen struktural yang memikul beban berat (*high-load-bearing*) (Saradar dkk., 2020). Rendahnya kekuatan mekanis tersebut dipengaruhi oleh struktur pori dan karakteristik agregat ringan di dalamnya yang cenderung rapuh.

B. Sifat rapuh atau getas

Karakteristik lain yang menjadi tantangan pada beton ringan, termasuk bata ringan, adalah sifatnya yang cenderung getas (rapuh), sehingga berisiko mengalami keruntuhan secara mendadak saat menerima tegangan yang melebihi kapasitasnya (Saradar dkk., 2020). Sifat getas ini menyebabkan bata ringan memiliki kuat tarik serta kemampuan regangan yang sangat rendah,

sehingga material menjadi kurang daktil dan rentan mengalami keruntuhan atau retak mendadak saat menerima beban kejut seperti gempa bumi.

C. Kuat lentur dan kuat lekat geser rendah

Bata ringan sering kali memiliki kelemahan pada kapasitas kuat lentur dan kuat lekat geser, yang dapat menurunkan integritas serta kestabilan strukturalnya. Keterbatasan tersebut dapat dimitigasi melalui peningkatan kekasaran permukaan material atau dengan melakukan modifikasi pada area kontak permukaannya (Hashim & Tantray, 2023).

D. Variabilitas Sifat Mekanis

Kelemahan lain yang sering dijumpai pada bata beton ringan adalah tingginya variabilitas sifat mekanis (ketidakseragaman kekuatan material). Nilai kuat tekan dan kapasitas lentur pada bata ringan sering kali berfluktuasi, yang umumnya disebabkan oleh distribusi pori-pori udara yang tidak merata serta stabilitas *foam* yang sulit dikontrol selama proses pencampuran. Sebagai contoh, beton ringan berbasis *ceramsite* menunjukkan tingkat variabilitas yang lebih tinggi serta pola keruntuhan yang lebih getas atau rapuh dibandingkan dengan beton ringan berbasis busa (Fang dkk., 2022).

Oleh karena itu, keterbatasan-keterbatasan mekanis ini membuka peluang besar untuk dilakukannya modifikasi atau inovasi pada campuran material. Penggantian atau penambahan bahan alternatif tertentu diharapkan mampu memperbaiki struktur pori, menekan tingkat kegetasan, serta meningkatkan konsistensi kuat tekan pada bata ringan.

2.8 Analisis Komparatif Kadar Optimum Substitusi Abu dan Arang Tempurung Kelapa Berdasarkan Studi Literatur

Analisis variasi kadar material alternatif dilakukan dengan memetakan hasil penelitian terdahulu guna menentukan acuan rentang persentase yang optimal. Pengumpulan data dari literatur ilmiah ini difokuskan pada dua jenis material utama, yaitu abu tempurung kelapa dan arang tempurung kelapa, yang bersumber dari sepuluh penelitian untuk variasi abu dan empat penelitian untuk variasi arang. Melalui rekapitulasi data komparatif ini, sebaran kadar penggunaan material pengisi atau substitusi dapat diidentifikasi secara jelas, sehingga memberikan

gambaran komprehensif mengenai batasan proporsi campuran yang telah teruji secara akademis.

Pemanfaatan arang tempurung kelapa sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam teknologi bata ringan telah banyak diteliti karena potensinya yang besar dalam menurunkan bobot isi. Berbagai studi literatur terdahulu menunjukkan bahwa kinerja beton yang diintegrasikan dengan arang sangat sensitif terhadap batas ambang substitusinya. Pada tingkat penambahan yang rendah dan terkontrol, agregat arang yang ringan mampu mengoptimalkan stabilitas struktural tanpa menyebabkan penurunan performa mekanis yang parah. Oleh karena itu, mengidentifikasi persentase optimum yang tepat dari arang tempurung kelapa pada berbagai desain campuran menjadi sangat krusial. Analisis komparatif terhadap kadar optimum yang dilaporkan oleh peneliti terdahulu akan memberikan dasar yang kuat untuk memahami batasan struktural serta perilaku mekanis dari komponen ringan berbasis limbah ini. Berikut adalah tabel rekapitulasi hasil optimum yang telah dilakukan oleh penelitian terdahulu,

Tabel 2. 6 Rekapitulasi persentase optimum arang

No	Sumber	Variabel	Persentase Optimum	Output
1	Riyanto dkk., 2018	Substitusi	7,5	Beton
2	Sihombing dkk., 2018	Bahan tambah	7,5	Mortar
3	Artika dkk., 2021	Substitusi	10	Beton
4	Purwanta dkk, 2024	Substitusi	10	Beton ringan
5	A. Riyanto dkk., 2025)	Substitusi	8	Beton

Selain pemanfaatan arang sebagai agregat, penggunaan abu tempurung kelapa sebagai bahan pengikat tambahan atau substitusi sebagian semen juga menjadi fokus utama dalam pengembangan material konstruksi berkelanjutan. Selain kontribusi kimianya, abu tempurung kelapa juga memiliki distribusi ukuran partikel yang sangat luas dan halus, sehingga efektif bertindak sebagai pengisi mikro (*micro-filler*). Mekanisme fisik ini memungkinkan butiran abu masuk dan menyumbat rongga-rongga mikro di antara partikel semen maupun pori internal yang dibawa oleh agregat ringan seperti arang. Melalui tinjauan terhadap berbagai

literatur, pemahaman mengenai variasi kadar optimum abu dari penelitian terdahulu menjadi landasan penting untuk menentukan formula substitusi yang paling efisien.

Tabel 2. 7 Rekapitulasi persentase optimum abu

No	Sumber	Variabel	Persentase Optimum	Output
1	Hardini dkk., 2021	Bahan tambah	2,5	Paving block
2	Langitan dkk., 2022	Substitusi	5	Beton
3	Eransyah dkk., 2022	Bahan tambah	2,5	Beton
4	Adajar dkk., 2020	Substitusi	10	Beton
5	Santosa dkk., 2023	Substitusi	2,5	Beton
6	Anisa dkk., 2024	Bahan tambah	7,5	Mortar
7	Rego dkk., 2022	Substitusi	5	Beton
8	Saputra dkk., 2020	Substitusi	6	Paving block
9	Sikanna, 2025	Bahan tambah	5	Beton

Berdasarkan hasil analisis komparatif dari Tabel 2.6 dan 2.7 di atas, dapat disimpulkan bahwa material limbah tempurung kelapa yang digunakan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap performa mekanis dan karakteristik akhir beton.

Penentuan persentase variasi campuran abu dan arang tempurung kelapa pada penelitian ini didasarkan pada metode analisis komparatif melalui rekapitulasi literatur terdahulu seperti yang disajikan pada Tabel 2.6 dan 2.7, di mana diperoleh rentang persentase optimum penggunaan limbah tersebut berkisar antara 2,5% hingga 10%. Batas bawah sebesar 2,5% diidentifikasi sebagai titik aman minimum efektivitas material, sementara batas atas sebesar 10% merupakan ambang maksimum sebelum terjadi penurunan kualitas. Pada rentang aman tersebut, kadar arang ditetapkan sebesar 3% karena berada pada batas aman rekapitulasi literatur. Penelitian ini mengombinasikan dua bahan secara bersamaan (abu dan arang), maka batas aman akumulatif untuk total persentase kedua bahan tersebut dibatasi agar tidak melampaui batasan optimum terbesar dari literatur, yaitu maksimal 13%, sehingga proporsi abu dalam mengikat agregat arang tetap terjaga secara struktural di dalam matriks bata ringan.

2.9 Analisis Komparatif Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai penggunaan arang tempurung kelapa sebagai bahan campuran maupun substitusi dalam pembuatan beton telah banyak dilakukan sebelumnya. Guna memahami perkembangan riset, variabel uji yang digunakan, serta kelemahan dari studi-studi terdahulu, dilakukan analisis komparatif terhadap beberapa rujukan utama. Rangkuman hasil penelusuran literatur tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.8 di bawah ini,

Tabel 2. 8 *Literature Review* untuk Penggunaan Arang Tempurung Kelapa

No	Sumber	Output	Variabel	Pengujian	Hasil	Kekurangan
1	(Purwanta dkk., 2024)	Beton	Substitusi arang untuk pasir dan substitusi <i>fly ash</i> untuk semen	Uji kuat tekan dan bobot isi	• Nilai kuat tekan maksimum dicapai oleh beton dengan substitusi arang tempurung kelapa 10%, sebaliknya bobot isi minimum dihasilkan oleh variasi campuran 20% dan mereduksi hingga 7.23%. • Penambahan arang tempurung kelapa menyebabkan reduksi pada nilai bobot isi, yang membuat karakteristik beton menjadi lebih ringan daripada beton biasa	Tidak melakukan uji penyerapan air

Lanjutan Tabel 2. 8 *Literature Review* untuk Penggunaan Arang Tempurung Kelapa

No	Sumber	Output	Variabel	Pengujian	Hasil	Kekurangan
2	(D. Riyanto dkk., 2018)	Beton struktural K225	Arang batok kelapa sebagai substitusi pasir, Kuat tekan beton	Uji kuat tekan beton kubus (umur 3, 7, 14 hari)	- Kadar arang 7,5% memberikan kuat tekan maksimal dan meningkatkan 7.83% dari beton biasa. - Disarankan penggunaan tidak lebih dari 10%	Tidak melakukan pengujian daya serap air dan bobot isi pada beton
3	(Artika dkk., 2021)	Beton Fc 16.6 MPa	Arang tempurung kelapa sebagai substitusi agregat halus, Kuat tekan beton	Uji kuat tekan silinder (15x30 cm) pada umur 7, 14, dan 28 hari.	- Kadar arang 10% menurunkan kuat tekan beton sebesar 24.3% dari beton normal. - Disarankan penggunaan tidak lebih dari 10%	Tidak melakukan pengujian daya serap air dan bobot isi pada beton
4	(Mahendra dkk., 2021)	Beton Fc 16.6 MPa	Substitusi semen dan pasir, Kuat tekan, Slump	Uji <i>Slump</i> dan Kuat tekan	- Penambahan optimum yakni arang batok 3% kelapa sebagai pengganti sebagian pasir dan <i>fly ash</i> 6% sebagai pengganti sebagian semen dan meningkatkan 18.18% kuat tekan. - Nilai slump turun drastis antara beton normal dan beton variasi.	Belum meninjau pengaruh bobot isi dan serap air

Lanjutan Tabel 2. 8 *Literature Review* untuk Penggunaan Arang Tempurung Kelapa

No	Sumber	Output	Variabel	Pengujian	Hasil	Kekurangan
5	(Sihombing dkk., 2018)	Mortar	Penambahan arang, kuat tekan mortar	Uji kuat tekan, Uji <i>initial flow</i> adonan	- Persentase tertinggi kuat tekan terjadi pada kadar 7,5% dengan penambahan 7.51 MPa dari mortar normal. - Semakin tinggi persentase substitusi arang, semakin meningkat nilai <i>initial flow</i> adonan	Belum meninjau bobot isi pada adonan
6	(A. Riyanto dkk., 2025)	Beton	Substitusi arang sebagai pengganti pasir	Uji kuat tekan	- Substitusi arang tempurung kelapa sebesar 8% menghasilkan kuat tekan beton maksimum mencapai 263,7 kg/cm², atau meningkat sebesar 17,2% dibandingkan dengan beton normal. - Berat jenis arang lebih rendah daripada berat jenis pasir.	Belum menguji daya serap air

Lanjutan Tabel 2. 8 Literature Review untuk Penggunaan Arang Tempurung Kelapa

No	Sumber	Output	Variabel	Pengujian	Hasil	Kekurangan
7	(Lawrence & Regin, 2024)	Bata ringan AAC	Substitusi pasir oleh arang, penambahan <i>silica fume</i>	Uji kuat tekan, daya serap, bobot isi	- Sampel dengan variasi 5% Arang Kelapa dan 1% <i>silica fume</i> meningkatkan 3.12 N/mm² dari bata ringan normal. - Daya serap air meningkat seiring dengan substitusi pasir oleh arang tempurung kelapa. - Porositas turun 2% dari AAC normal	Belum mengkombinasi kan dengan bahan tambah <i>microfiller</i>
8	Penulis (2026)	Pengaruh penggunaan abu dan arang tempurung kelapa terhadap bata ringan	Substitusi semen oleh abu tempurung kelapa, Substitusi pasir oleh arang tempurung kelapa	Bobot isi, penyerapan air, dan kuat tekan	-	-

Selain bentuk arang, pemanfaatan limbah tempurung kelapa juga banyak diteliti dalam bentuk abu (*coconut shell ash / CSA*). Kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu mengenai penggunaan abu tempurung kelapa dilakukan untuk menganalisis karakteristik, efek pengisi (*filler effect*), serta pengaruhnya terhadap sifat mekanik beton. Hasil tinjauan literatur tersebut dirangkum dalam Tabel 2.9 berikut.

Tabel 2. 9 Literature Review untuk Penggunaan Abu Tempurung Kelapa

No	Sumber	Output	Variabel	Pengujian	Hasil	Kekurangan
1	(Ranatunga dkk., 2023)	Beton	Substitusi semen, Kekuatan tekan, kepadatan, dan penyerapan air	Kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, modulus elastisitas, dan analisis mikrostuktur (SEM/EDX)	- CSA memiliki gradasi yang lebih baik daripada semen, sehingga memberikan efek pengisi (<i>filler effect</i>) yang lebih baik dibandingkan dengan semen. - CSA dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga kadar optimum 15% dan berhasil menaikkan 14.29% kuat tekan dari beton biasa.	Tidak menggunakan arang sebagai substitusi agregat halus (pasir)
2	(Santosa dkk., 2023)	Beton	ATK sebagai substitusi semen, Nilai <i>slump</i> , Kuat tekan, Berat volume	Uji <i>slump</i> (beton segar) dan uji kuat tekan	Substitusi semen dengan abu tempurung kelapa pada kadar 2.5% meningkatkan kuat tekan beton secara maksimal hingga 1.82%.	Belum meninjau parameter mekanis lainnya seperti kuat tarik belah, kuat lentur, maupun modulus elastisitas beton

Lanjutan Tabel 2. 9 Literature Review untuk Penggunaan Abu Tempurung Kelapa

No	Sumber	Output	Variabel	Pengujian	Hasil	Kekurangan
3	(Hardini dkk., 2021)	Paving block mutu D.	ATK sebagai bahan tambah <i>paving block</i>	Uji kuat tekan dan daya serap air	- Variasi 2,5% ATK menghasilkan kuat tekan terbaik (10,5 MPa) dan dapat meningkatkan kuat tekan hingga 45.8%. - Daya serap turun pada variasi 5% dan naik kembali pada kadar 10%.	Hanya menggunakan ATK sebagai bahan tambah (bukan substitusi semen)
4	(Adajar dkk., 2020)	Beton	Substitusi semen	Uji kuat tekan	Kuat tekan beton dengan substitusi 10% adalah kadar optimal dengan nilai 31 MPa yang mana ini lebih rendah 6.06% dari beton normal, namun optimal sebelum mengalami penurunan drastis hingga 25 MPa di substitusi 20%.	Belum meninjau uji penyerapan air
5	(Langitan dkk., 2022)	Beton	Abu arang tempurung kelapa (AAT) sebagai substitusi semen, Penggunaan <i>Superplasticizer</i> , Kuat tekan	Uji kuat tekan silinder (10x20 cm), uji <i>slump</i> , dan pemeriksaan berat volume.	Substitusi AAT 5% memberikan kuat tekan maksimum (31,11 MPa). Penggunaan <i>superplasticizer</i> efektif menjaga nilai <i>slump</i> dan meningkatkan mutu beton melebihi rencana.	Proses pembuatan abu dinilai kurang ekonomis jika diterapkan dalam skala besar.

Lanjutan Tabel 2. 9 *Literature Review* untuk Penggunaan Abu Tempurung Kelapa

No	Sumber	Output	Variabel	Pengujian	Hasil	Kekurangan
6	Penulis (2026)	Pengaruh penggunaan abu dan arang tempurung kelapa terhadap bata ringan	Substitusi semen oleh abu tempurung kelapa, substitusi pasir oleh arang tempurung kelapa	Bobot isi, penyerapan air, dan kuat tekan	-	-

2.10 Metode Campuran atau *Mix Design*

Perencanaan komposisi campuran (*mix design*) merupakan langkah paling krusial dalam pembuatan bata beton ringan tipe *Cellular Lightweight Concrete (CLC)*. Proses ini dilakukan untuk menentukan proporsi yang tepat dari masing-masing material penyusun seperti semen, pasir, air, dan foam agent agar dapat menghasilkan beton ringan yang memenuhi target densitas sekaligus kuat tekan yang direncanakan. Sedangkan perencanaan komposisi campuran (*mix design*) pada penelitian ini dirancang untuk mencapai target densitas pada kategori 1100 kg/m^3 .

Penelitian terdahulu membuktikan bahwa komposisi campuran semen dan pasir dengan rasio 1:2 serta nilai FAS 0,5 berhasil menghasilkan beton ringan berkekuatan struktural. Dengan karakteristik mekanis tersebut, formula campuran ini dinilai sangat layak dan aman untuk diaplikasikan pada komponen dinding rumah sistem pabrikasi atau pabrikasi (Risdanareni dkk., 2016).

Penelitian yang dilakukan oleh Nambiar & Ramamurthy, (2007) menggunakan batasan volume foam maksimal sebesar 50% untuk menjaga nilai stabilitas campuran. Stabilitas ini diukur dari kemampuan adonan beton basah untuk mempertahankan strukturnya sehingga densitas aktual yang dihasilkan di laboratorium tetap presisi sesuai dengan densitas yang direncanakan.

2.11 Analisis Komparatif Efisiensi Material Bata Ringan Inovasi

Pengembangan bata beton ringan jenis *Cellular Lightweight Concrete (CLC)* dengan memanfaatkan bahan substitusi lokal tidak hanya bertujuan untuk memperbaiki karakteristik mekanisnya saja, melainkan juga untuk mengoptimalkan efisiensi material dari berbagai aspek konstruksi. Analisis efisiensi ini menjadi parameter yang sangat krusial dalam mengevaluasi kelayakan sebuah material inovasi sebelum diaplikasikan pada skala industri atau lapangan.

A. Efisien dari segi berat

Penggunaan material substitusi berupa arang tempurung kelapa sebagai pengganti sebagian agregat halus maupun abu tempurung kelapa sebagai substitusi semen akan menurunkan berat dari bata ringan secara signifikan. Penurunan berat isi ini terjadi karena karakteristik fisik arang tempurung kelapa memiliki berat jenis yang jauh lebih rendah dan struktur yang lebih

berpori dibandingkan dengan material alam konvensional (D. Riyanto dkk., 2018).

B. Efisien dari segi biaya produksi & lingkungan

Penggunaan material substitusi berupa arang tempurung kelapa sebagai pengganti sebagian agregat halus maupun abu tempurung kelapa sebagai substitusi semen mengurangi ketergantungan pada penggunaan semen maupun agregat halus melalui substitusi yang secara otomatis akan menurunkan biaya pengadaan bahan baku. Pemanfaatan material alternatif yang bersifat lokal dan bersumber dari limbah ini memberikan keuntungan ekonomis yang signifikan dibandingkan dengan produksi bata ringan konvensional yang sepenuhnya bergantung pada material pabrikan.

C. Efisiensi Struktur dan Pelaksanaan

Karakteristik bata ringan inovasi yang memiliki bobot lebih rendah namun tetap memenuhi kualifikasi bata ringan sesuai standar SNI 8640-2018. Dimensi bata ringan yang lebih presisi dan praktis ini juga menambah kecepatan pengerjaan dinding dan mampu menghemat kebutuhan tenaga kerja. Membuat bata ringan inovasi sangat cocok untuk diaplikasikan pada metode konstruksi modern. Efisiensi ini, menjadikannya sebuah alternatif inovasi material dinding yang kompetitif dan aplikatif untuk kebutuhan industri konstruksi.

2.12 Analisis Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu telah mengonfirmasi bahwa secara individual, limbah abu dan arang tempurung kelapa memiliki performa yang sangat menjanjikan sebagai material alternatif sebagai campuran struktur beton. Namun, sejauh ini studi yang tersedia masih bersifat parsial, di mana penggunaan kedua material tersebut dikaji secara terpisah atau belum ada penelitian yang mengombinasikan keduanya. Bermula dari keterbatasan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji tentang pengaruh kombinasi abu dan arang tempurung kelapa sebagai substitusi semen dan agregat halus terhadap kinerja bata ringan, serta menentukan komposisi optimum yang memenuhi standar mutu dan efisiensi biaya produksi. Termasuk efisiensi dari segi energi produksi yang melalui satu siklus proses pembakaran, sehingga dua

jenis material tambahan dapat dihasilkan sekaligus, dan meminimalisir penggunaan bahan bakar dan jejak karbon dalam proses produksinya.

Potensi penggabungan dua jenis material alternatif ini semakin diperkuat oleh penelitian oleh Mahendra dkk., 2021) yang mengombinasikan *fly ash* sebagai substitusi semen dan arang tempurung kelapa sebagai substitusi agregat halus, yang terbukti mampu meningkatkan kuat tekan beton hingga mencapai nilai optimum tertentu. Mengingat abu tempurung kelapa memiliki karakteristik kimia dan indeks *pozzolanik* yang sangat serupa dengan *fly ash*, maka menambah hipotesis bahwa kombinasi abu tempurung kelapa dapat menggantikan bahan *fly ash* seperti dalam penelitian tersebut.

Arang dipilih karena berat jenisnya yang lebih rendah dari pasir, sehingga bata ringan yang dihasilkan juga cenderung lebih ringan. Namun arang diketahui memiliki pori mikro yang beresiko menurunkan kuat tekan dan densitas dari campuran. Maka telah dikaji pula bahwa abu dapat menjadi *micro-filler* untuk pori yang terdapat pada arang yang diharapkan mampu meningkatkan densitas campuran sebab partikel abu yang mengisi celah celah pori mikro pada arang sehingga dapat menaikkan kuat tekan. Hal ini menjadi landasan bagi penelitian ini untuk menguji sejauh mana sinergi kedua limbah lokal tersebut dalam meningkatkan mutu mekanis bata ringan sekaligus menciptakan produk inovasi konstruksi yang ramah lingkungan.