

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton dapat diklasifikasikan menurut komposisi material dan karakteristik penggunaannya. Salah satu jenis beton yang umum digunakan adalah beton normal, yang menggunakan agregat alam sebagai agregat halus maupun kasar, serta memiliki berat jenis berkisar antara 2200 hingga 2400 kg/m³. Kinerja beton normal pada umumnya dinilai berdasarkan nilai kuat tekan yang dihasilkan, yang kemudian dibandingkan dengan mutu rencana yang telah ditentukan (Rifki dkk., 2023). Beton normal umumnya dirancang untuk memenuhi kebutuhan struktural dengan mutu tertentu sesuai perencanaan, di mana parameter utama yang digunakan untuk menilai kinerjanya adalah kuat tekan beton (SNI-2847-2019). Kemampuan beton dalam menahan beban tekan tidak hanya dipengaruhi oleh mutu semen, tetapi juga oleh karakteristik material penyusunnya, termasuk agregat. Agregat halus berfungsi sebagai bahan pengisi yang membantu mengurangi terbentuknya rongga (*void*) pada campuran beton, sehingga menghasilkan struktur beton yang lebih padat dan homogen. Oleh karena itu, berdampak terhadap kuat tekan beton yang diperoleh.

2.1.1 Agregat Halus (Pasir)

Penggunaan pasir dalam berbagai proyek konstruksi sudah sangat umum di temukan, seperti plesteran, pasangan bata, dan beton, karena sifatnya yang kuat dan stabil. Untuk menjaga kualitas dan kekuatan material yang dibuat, kandungan lumpur pasir sebagai bahan konstruksi tidak boleh melebihi 5%. Keberadaan lumpur dalam jumlah berlebihan dapat menghambat terbentuknya ikatan yang optimal antara pasta semen dan agregat halus, yang pada akhirnya dapat menurunkan performa struktural beton. (Nusantoro & Pambudi, 2021).

2.1.2 Portland Cemen (PC)

Semen Portland, material konstruksi yang memiliki sifat adhesi dan kohesi yang luar biasa, digunakan untuk mengikat fragmen mineral menjadi satu kesatuan yang

kokoh. Pada proses pembentukan beton, semen bertindak sebagai matriks pengikat yang menyatukan butiran agregat kasar dan halus menjadi satu kesatuan material yang solid dan memiliki kemampuan menahan beban. Semen portland, sesuai dengan Badan Standardisasi Nasional (SNI) 15-2049-2004, adalah jenis semen hidrolis yang komponen utamanya adalah kalsium silikat. Unsur-unsur pembentuk kalsium silikat ini, yaitu kalsium dan silikon (bukan aluminium). Komponen utama semen Portland adalah kalsium silikat yang terbentuk melalui reaksi antara kalsium oksida (CaO) dan silika dioksida (SiO_2), yang berasal dari bahan baku seperti batu kapur serta material yang mengandung mineral silika. Selain itu, kandungan aluminium oksida (Al_2O_3) juga terdapat dalam semen Portland sebagai salah satu unsur penyusun yang memengaruhi karakteristik semen. (Mirajhusnita dkk., 2020).

Semen Portland berfungsi sebagai bahan pengikat yang menghubungkan agregat butiran menjadi suatu massa yang padat. Bahan pengikat semen sangat penting dalam industri konstruksi. Fungsi utamanya adalah mengikat agregat butiran, seperti pasir dan kerikil, menjadi massa yang kokoh dan padat. Ketika semen dicampur dengan air, proses ini dimulai, menyebabkan reaksi kimia yang disebut hidrasi (Harahap dkk., 2022).

2.1.3 Air

Peranan air dalam campuran beton tidak hanya terbatas sebagai bahan pencampur, tetapi juga sebagai faktor yang memengaruhi proses pembentukan kekuatan beton. Kualitas dan jumlah air yang digunakan akan berdampak langsung pada karakteristik serta performa beton yang dihasilkan. Air bereaksi secara kimiawi dengan semen melalui proses yang dikenal sebagai hidrasi, yang membentuk matriks pasta semen sehingga agregat dapat terikat menjadi material yang homogen, padat, dan mampu menahan beban dengan baik. Selain itu, jumlah air dalam campuran beton memengaruhi *workability* (kemudahan pengerjaan) beton, sehingga memengaruhi pencampuran, pemadatan, dan distribusi material beton pada kondisi segar (Astanto & Saelan, 2018). Faktor kualitas air juga dapat memengaruhi kuat tekan beton, di mana variasi sifat air seperti pH dapat mempengaruhi perkembangan kekuatan beton pada umur standar seperti 28 hari (Mbuh dkk., 2024).

2.1.4 Agregat Kasar (Kerikil)

Karakteristik agregat kasar adalah komponen utama campuran beton yang berfungsi sebagai tulang struktur (skeleton) yang menahan tegangan tekan dan memberikan stabilitas volume. Kerikil atau batu pecah berukuran lebih besar dari 4,75 milimeter biasanya digunakan sebagai agregat kasar untuk meningkatkan kekuatan tekan dan kinerja mekanik.

Hasil kajian yang telah dilakukan oleh berbagai peneliti di Indonesia mengindikasikan bahwa sifat dan komposisi agregat kasar berpengaruh terhadap mutu beton. Simanjuntak & Tampubolon (2022) Simanjuntak & Tampubolon (2022) meneliti variasi agregat kasar pada beton porous dan menemukan bahwa ukuran serta proporsi agregat kasar mempengaruhi kuat tekan dan porositas beton. Hujiyanto dkk. (2024) dalam kajiannya mengenai hubungan ukuran maksimum agregat kasar terhadap karakteristik kuat tekan dan porositas beton menyatakan bahwa sifat fisik agregat kasar memiliki peran penting dalam memengaruhi sifat mekanis serta durabilitas beton.

Selain itu, Arian dkk. (2021) melaporkan bahwa penggunaan agregat kerikil alami dalam variasi campuran dapat mempengaruhi kuat tekan beton, yang mengindikasikan pentingnya pemilihan agregat kasar sesuai karakteristik yang diperlukan. Karakteristik agregat kasar, seperti gradasi, ukuran butir, dan tingkat kebersihan, memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan beton. Hasil tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan perancangan beton dengan kekuatan dan ketahanan yang baik sangat bergantung pada ketepatan dalam pemilihan agregat kasar yang digunakan.

2.1.5 Bottom Ash

Penelitian Rafieizonooz dkk. (2016) melaporkan bahwa dari total abu hasil pembakaran batubara pada industri non-pembangkit, lebih dari 75% di antaranya masih berakhir sebagai limbah yang ditimbun tanpa pemanfaatan lanjutan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif pengelolaan *bottom ash* yang tidak hanya aman secara lingkungan, tetapi juga bernilai tambah. Sejalan dengan perkembangan teknologi rekayasa material, pemanfaatan limbah industri sebagai bagian dari material konstruksi berkelanjutan semakin banyak dikaji. Pemanfaatan *bottom ash*

masih relatif terbatas, khususnya sebagai substitusi agregat halus, meskipun memiliki karakteristik fisik yang mendekati agregat alam (Posedung dkk., 2020).

Pemanfaatan *bottom ash* sebagai substitusi sebagian agregat halus telah banyak dikaji dalam berbagai penelitian selama dekade terakhir, dengan hasil yang menunjukkan bahwa material tersebut berpotensi diaplikasikan pada campuran beton. Putri dkk. (2019) melaporkan bahwa penggunaan *bottom ash* hingga 20% sebagai substitusi pasir masih mampu menghasilkan kuat tekan beton yang memenuhi persyaratan struktural, meskipun porositas cenderung meningkat pada kadar yang lebih tinggi. Hasil serupa juga ditunjukkan oleh Dewi & Prasetyo, yang menyatakan bahwa penambahan *bottom ash* pada persentase tertentu dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton, dengan catatan bahwa kinerja beton sangat dipengaruhi oleh karakteristik awal *bottom ash* yang digunakan.

Karakteristik fisik *bottom ash* yang terdiri atas partikel berpori dengan berat jenis relatif rendah menjadikannya berpotensi digunakan sebagai material substitusi parsial terhadap agregat halus dalam campuran beton. Selain memperbaiki nilai guna limbah hasil pembakaran batubara, pemanfaatan *bottom ash* juga dapat mendukung konsep konstruksi yang lebih berkelanjutan. Hasil sejumlah studi mengindikasikan bahwa pemanfaatan *bottom ash* pada kadar substitusi yang sesuai mampu memberikan kontribusi positif terhadap perkembangan kuat tekan beton. Dewi & Prasetyo (2021) melaporkan bahwa kuat tekan beton optimum diperoleh pada kadar substitusi *bottom ash* sebesar 9% dengan kuat tekan 28 hari mencapai 29,5 MPa. Putri dkk. (2019) juga menemukan bahwa kuat tekan beton optimum terjadi pada kadar 20%, sementara itu, pada kadar yang lebih tinggi, peningkatan porositas beton menyebabkan terjadinya penurunan nilai kuat tekan.

Penelitian lain oleh Mirajhusnita dkk. (2020) menunjukkan bahwa kadar optimum penggunaan *bottom ash* berada pada rentang 10–15%, yang masih mampu menjaga keseimbangan antara kinerja mekanis beton dan karakteristik materialnya. Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa *bottom ash* memiliki batas kadar optimum dan dapat dimanfaatkan secara efektif sebagai agregat halus apabila digunakan dengan pengendalian yang tepat. Material *bottom ash* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari residu pembakaran batubara dan memiliki sejumlah karakteristik fisik tertentu, termasuk porositas tinggi, tekstur permukaan kasar, dan

kandungan partikel halus dan residu pembakaran. Oleh karena itu, sebelum agregat halus digunakan sebagai pengganti parsial untuk campuran beton, tanah bawah harus diproses terlebih dahulu. Ini dilakukan untuk memastikan kondisi material yang lebih seragam dan memenuhi spesifikasi pengujian yang ditetapkan.

Tabel 2.1. Tabel Penelitian Terdahulu Perlakuan Awal *Bottom Ash*

Keterangan	Referensi Perlakuan Awal <i>Bottom Ash</i>	Penjelasan Perlakuan Beton
Beton Normal	Putri dkk. (2019a) menggunakan beton normal sebagai beton kontrol untuk membandingkan pengaruh substitusi <i>bottom ash</i> terhadap kuat tekan beton.	Campuran beton tanpa substitusi <i>bottom ash</i>
<i>Bottom Ash</i> Alami	Hardiana dkk., 2019 menyatakan bahwa pemanfaatan <i>bottom ash</i> dalam kondisi alami tanpa proses perlakuan terlebih dahulu dapat menurunkan kuat tekan beton dibandingkan beton normal. Penurunan tersebut dipengaruhi oleh karakteristik <i>bottom ash</i> yang memiliki porositas dan daya serap air yang relatif tinggi.	<i>Bottom ash</i> digunakan dalam kondisi alami tanpa perlakuan khusus.
<i>Bottom Ash</i> Udara (Dangin-anginkan)	Hamdani (2024) menyatakan bahwa pengurangan kadar air pada <i>bottom ash</i> melalui proses pengeringan udara dapat meningkatkan kestabilan material dan memperbaiki mutu beton.	<i>Bottom ash</i> di angin-anginkan di suhu ruangan selama 72 jam.
<i>Bottom Ash</i> Sangrai	Putra dkk. (2021) menunjukkan bahwa perlakuan pengeringan pada material <i>bottom ash</i> dapat meningkatkan kepadatan beton sehingga kuat tekan menjadi lebih baik dibanding kondisi alami.	<i>Bottom ash</i> dikeringkan menggunakan sangrai selama ± 30 menit.
<i>Bottom Ash</i> Oven	Tohir dkk. (2024) menjelaskan bahwa <i>bottom ash</i> yang dikeringkan menggunakan oven memiliki kadar air lebih rendah sehingga menghasilkan kuat tekan beton tertinggi dibanding variasi lainnya.	<i>Bottom ash</i> dikeringkan menggunakan oven selama ± 24 jam.

2.2 Persyaratan Beton

Dalam perencanaan struktur, pemenuhan standar teknis beton diperlukan untuk memastikan bahwa elemen struktur memiliki kapasitas kekuatan yang cukup sesuai dengan fungsi serta beban yang direncanakan. Di Indonesia, persyaratan beton diatur dalam beberapa standar nasional yang berlaku di Indonesia (SNI), khususnya yang berkaitan dengan kuat tekan, mutu material penyusun, serta kriteria penerimaan beton di lapangan maupun laboratorium.

2.2.1 Kuat Tekan Beton

Sebagai salah satu karakteristik mekanis yang penting, kuat tekan mencerminkan kemampuan beton dalam menerima beban tekan sebelum mengalami keruntuhan. Evaluasi mutu beton mekanis beton yang dilakukan melalui pengujian terhadap benda uji standar, baik berbentuk kubus maupun silinder berukuran 150 mm x 300mm, yang umumnya dilaksanakan pada umur 28 hari. Untuk mengukur mutu beton yang dihasilkan, pengujian dilakukan menggunakan benda uji berbentuk kubus standar atau silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, setelah benda uji mencapai umur 28 hari.

Daya tahan beton terhadap beban tekan direpresentasikan melalui besarnya nilai kuat tekan yang diperoleh dari pengujian, yaitu beban terbesar yang dapat diterima per satuan luas penampang sebelum beton mengalami kegagalan. Pengukuran nilai tersebut dilakukan dengan memberikan pembebanan tekan secara terus-menerus hingga benda uji mengalami keruntuhan sehingga tidak mampu lagi menahan beban yang diberikan. Selanjutnya, perhitungan berikut dapat dilakukan untuk menghitung tegangan hancur benda uji:

$$f'c : \frac{P}{A} \left(\frac{N}{mm^2} \right) \dots\dots\dots \text{Persamaan 2. 1}$$

Dimana:

$f'c$ = Kuat tekan beton pada umur 28 (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

Penggunaan material tambahan seperti abu *bottom ash* diharapkan dapat memperkuat struktur beton melalui peningkatan ikatan antara agregat dan bahan pengikat semen (Dewi & Prasetyo, 2021).

Menurut ketentuan dalam SNI 2847:2019, mutu beton dinyatakan melalui parameter kuat tekan yang dilambangkan dengan $f'c$. Nilai tersebut menunjukkan kuat tekan minimum yang direncanakan untuk dicapai beton pada umur 28 hari. Beton dengan mutu $f'c$ 20 MPa termasuk kategori beton normal yang lazim digunakan dalam konstruksi gedung, terutama pada bagian-bagian utama struktur seperti kolom, balok, serta pelat lantai. Karakteristik kuat tekan ($f'c$) beton ditentukan berdasarkan nilai kuat tekan karakteristik Hasil tes juga harus memenuhi nilai minimum dan rata-rata yang diizinkan.

Tabel 2.2. Klasifikasi Mutu Beton Berdasarkan Kuat Tekan

Mutu Beton	Kuat Tekan Karakteristik ($f'c$)	Keterangan
Rendah	< 20 MPa	Non Struktural
Sedang	20 – 40 MPa	Struktural umum
Tinggi	> 40 MPa	Struktural Khusus

Sumber: SNI 2847:2019

2.2.2 Kriteria Penerimaan Beton

Kriteria penerimaan beton digunakan untuk menentukan apakah beton yang dibuat memenuhi standar rencana. SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung menyatakan bahwa beton dapat dikatakan memenuhi kuat tekan rencana ($f'c$) apabila memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Suatu beton dinyatakan memenuhi $f'c$ apabila rata-rata dari tiga benda uji berturut-turut tidak lebih rendah dari nilai rencana, serta minimal dua hasil pengujian menunjukkan nilai yang sama atau lebih besar dari $f'c$
- b. Hasil pengujian kuat tekan tidak diperkenankan menunjukkan nilai yang lebih kecil dari:

$$f'c = 3,5 \text{ Mpa}$$

Pengujian kuat tekan beton dilakukan berdasarkan prosedur yang tercantum dalam SNI 1974:2011 dengan memanfaatkan benda uji silinder sebagai spesimen pengujian. Umur 28 hari digunakan sebagai waktu pengujian utama karena pada umur tersebut beton umumnya telah mencapai sebagian besar kekuatan rencananya dan dapat menggambarkan performa struktural beton secara lebih akurat. Apabila hasil pengujian kuat tekan beton memenuhi seluruh kriteria penerimaan tersebut, maka beton dinyatakan layak dan memenuhi mutu rencana. Sebaliknya, apabila beton tidak memenuhi kriteria penerimaan, maka perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut terhadap kualitas material penyusun, proses pencampuran, metode perawatan (curing), maupun pelaksanaan pengecoran, guna mengidentifikasi penyebab ketidaksesuaian mutu beton.

2.3 Penelitian Terdahulu

Pemanfaatan *bottom ash* dalam campuran beton telah menjadi objek berbagai penelitian yang umumnya dilakukan dengan memvariasikan tingkat penggantian agregat halus. Penilaian terhadap kualitas beton biasanya dilakukan melalui pengujian sifat mekanis dan fisik, mencakup parameter kuat tekan, kuat tarik belah, serta kemampuan penyerapan air. Berdasarkan hasil yang diperoleh, penggunaan *bottom ash* dalam jumlah tertentu masih dapat mempertahankan karakteristik beton sehingga layak digunakan sebagai alternatif pengganti agregat halus. Namun, jika digunakan pada kadar yang lebih tinggi, hal itu cenderung berdampak pada sifat mekanis dan daya tahan beton. Tabel berikut menyajikan ringkasan penelitian sebelumnya yang relevan untuk perbandingan dan acuan penelitian ini.

Tabel 2.3. Penelitian Terdahulu

No	Nama Penulis	Metode Pengujian	Produk	Persentase Material	Umur	Hasil
1.	Hamdani (2024)	Uji Daya Serap	Batako	0%,10%, 20%,30%	28 Hari	Serapan air dengan penambahan BA sebagai agregat halus didapatkan kadar optimum sebesar 30% yaitu $23,90\% < 25\%$. Selain itu, peningkatan kadar <i>bottom ash</i> hingga 30% menyebabkan serapan air meningkat signifikan akibat sifat porositas material.
2.	Dewi & Prasetyo (2021)	Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah	Batako	0%, 3%, 7%, 9%	7, 14, 28 hari	Pada umur 14 hari pada campuran 9% (11,88 MPa). Pada umur 28 hari, 9% (29, 21 MPa). Disisi lain, campuran 7% mengalami penurunan pada umur 28 danya kotoran serta partikel halus seperti lumpur dan debu yang mengganggu mutu beton.
3.	Putri dkk., 2019	Uji Kuat Tekan	Beton	10%, 20%, 30%	7, 14, 28 hari	Kuat tekan optimum terdapat pada campuran 20% sebesar 71,34 kg/cm ² (7,13 MPa), dan mengalami penurunan pada campuran 30% 52,13 kg/cm ² (5,21 MPa) karena meningkatnya penggunaan <i>bottom ash</i> yang menyebabkan ikatan pasta semen dan agregat melemah karena tingginya penyerapan air.

No	Nama Penulis	Metode Pengujian	Produk	Persentase Material	Umur	Hasil
4.	Putra dkk., 2021	Uji Kuat Tekan Dan Daya Serap	Beton	0%,5%, 10%,15%	7 & 28 hari	Kadar 10% memberikan kesembaingan antara kuat tekan dan daya serap.
5.	Mirajhu snita dkk., 2020	Kuat Tekan Dan Daya Serap	Beton	0%,10%, 20%,30%	7,14,28 hari	Kadar opimum <i>bottom ash</i> yang digunakan 10-15% yang mengindikasikan bahwa penggunaan <i>bottom ash</i> sangat sensitif terhadap kondisi fisiknya.
6.	Tohir dkk., 2024	Kuat Tekan	Beton	10%,20% 0%,40%,5 0%,60%	7,14,28 hari	Bottom ash memiliki daya serap air yang cukup tinggi, yang berpotensi memengaruhi keseimbangan rasio air semen dalam campuran beton. Namun, pada kadar tertentu, <i>bottom ash</i> juga mampu memberikan peningkatan kekuatan beton.
7.	Hardiana dkk., 2019	Kuat Tekan	Beton	100%	3,7,14, 28 hari	kondisi <i>bottom ash</i> alami tanpa perlakuan awal menunjukkan cenderung menurunkan kuat tekan dibandingkan beton normal, karena <i>bottom ash</i> secara gradasi sesuai sebagai substitusi agregat halus, karakteristik fisiknya yang berpori dan memiliki daya serap air tinggi masih menjadi kendala utama dalam penggunaannya.
8.	Kim dkk., 2020	Kuat Tekan	Beton		3,7,28, 56,91 hari	<i>Bottom ash</i> memiliki porositas tinggi, menurunkan slump, dan memerlukan kondisi SSD sebelum digunakan.
9.	Darwis dkk. 2015	Kuat Tekan		-	7,14,21 ,28,56 hari	Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi <i>bottom ash</i> yang dikeringkan menggunakan oven selama lebih dari 24 jam menunjukkan kuat tekan yang lebih tinggi. Variasi <i>bottom ash</i> yang dikeringkan dengan sinar matahari dan variasi tanah liat alami mencapai 24,84 MPa, naik 5,09% dari beton normal.

2.4 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual

Berdasarkan sifat fisiknya, *bottom ash* umumnya berbentuk angular atau granular, bertekstur kasar dan sangat berpori, serta memiliki daya serap air (*absorption*) yang lebih tinggi dibandingkan agregat halus konvensional. Dari penelitian Pradita dkk., data karakteristik fisik menunjukkan bahwa nilai penyerapan *bottom ash* berada pada kisaran 0,8–2,0%, sedangkan pasir alami umumnya memiliki nilai penyerapan yang lebih rendah. Selain itu, berat isi kering (*dry unit weight*) *bottom ash* cenderung lebih kecil dibandingkan pasir, yang mengindikasikan adanya rongga internal yang lebih besar. Hasil penelitian Hamdani (2024) menunjukkan bahwa peningkatan kadar *bottom ash* hingga 30% masih menghasilkan nilai serapan air yang memenuhi persyaratan, meskipun terjadi peningkatan signifikan akibat sifat porositas material. Penelitian Dewi & Prasetyo (2021) juga menunjukkan bahwa kadar substitusi 9%, menghasilkan kuat tekan optimum pada umur 28 hari. Namun, penelitian tersebut juga menegaskan bahwa pada kadar 7% terjadi penurunan kuat tekan yang dipengaruhi oleh keberadaan kotoran serta partikel halus seperti lumpur dan debu, yang mengganggu mutu ikatan dalam beton. Temuan ini mengindikasikan bahwa karakteristik awal *bottom ash* sangat berpengaruh terhadap kinerja beton, tidak hanya ditentukan oleh kadar substitusinya.

Penelitian Putri dkk. (2019) dan Putra dkk. (2021) memperkuat temuan bahwa penggunaan *bottom ash* pada rentang kadar tertentu, khususnya sekitar 10–20%, mampu memberikan keseimbangan antara kuat tekan dan daya serap. Namun, peningkatan kadar yang berlebihan justru menyebabkan penurunan kuat tekan akibat melemahnya ikatan antara pasta semen dan agregat yang dipicu oleh tingginya penyerapan air. Mirajhusnita dkk. (2020) juga menyimpulkan bahwa kadar optimum *bottom ash* berada pada rentang 10–15%, serta menekankan bahwa material ini sangat sensitif terhadap kondisi fisik awalnya. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun secara gradasi *bottom ash* mendekati agregat halus, sifat fisiknya masih menjadi faktor pembatas utama dalam penggunaannya.

Secara lebih spesifik, beberapa penelitian menyoroti bahwa karakteristik awal *bottom ash* memiliki berbagai keterbatasan, seperti gradasi yang kurang baik, bentuk butir yang angular, tekstur permukaan kasar, berat jenis yang relatif rendah, rongga internal yang tinggi, kandungan karbon tak terbakar, ukuran partikel yang

tidak seragam, serta daya serap air dan kadar air awal yang tinggi. Hardiana dkk. (2019) menunjukkan bahwa penggunaan *bottom ash* alami tanpa perlakuan awal cenderung menurunkan kuat tekan beton dibandingkan beton normal, meskipun secara fungsi material tersebut sesuai sebagai substitusi agregat halus. Kim dkk. (2020) juga melaporkan bahwa *bottom ash* memiliki porositas tinggi dan menurunkan slump beton, sehingga memerlukan pengendalian kondisi kelembapan, seperti kondisi saturated surface dry (SSD), sebelum digunakan.

Sejalan dengan permasalahan tersebut, beberapa penelitian mulai mengkaji pentingnya perlakuan awal terhadap *bottom ash* untuk memperbaiki sifat fisisnya. Darwis dkk. (2015) menunjukkan bahwa *bottom ash* yang dikeringkan menggunakan oven selama lebih dari 24 jam menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan kondisi tanpa perlakuan, bahkan mampu melampaui kuat tekan beton normal. Temuan ini mengindikasikan bahwa perlakuan awal mampu mengurangi kadar air terserap awal, menurunkan porositas efektif, serta memperbaiki homogenitas campuran beton.

Berdasarkan hasil kajian tersebut, dapat disimpulkan bahwa penelitian terdahulu umumnya masih berfokus pada variasi kadar substitusi *bottom ash*, sementara kajian yang membandingkan secara sistematis pengaruh variasi perlakuan awal terhadap kinerja beton pada kadar substitusi tertentu masih terbatas. Selain itu, banyak penelitian menggunakan *bottom ash* dalam kondisi alami tanpa pengendalian karakteristik awal secara menyeluruh, padahal sifat fisis material ini terbukti sangat memengaruhi performa beton. Oleh karena itu, terdapat celah penelitian (research gap) yang menuntut kajian lebih mendalam mengenai pengaruh metode perlakuan awal *bottom ash* terhadap kinerja beton.

Dengan mempertimbangkan kondisi aktual tersebut, penelitian ini difokuskan pada pemanfaatan *bottom ash* sebagai substitusi parsial agregat halus dengan kadar tetap yang didasarkan pada hasil penelitian terdahulu, serta dikombinasikan dengan variasi metode perlakuan awal, yaitu kondisi alami, pengeringan udara, sangrai, dan oven. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai peran perlakuan awal dalam mengendalikan karakteristik fisis *bottom ash*, sehingga dapat meningkatkan kuat tekan dan mengendalikan daya serap air beton secara optimal.