

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Peneliti berupaya mencari penelitian sebelumnya yang relevan dengan judul penelitian ini sebagai bahan perbandingan serta untuk menggali ide-ide baru dalam penelitian ini. Beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan judul penelitian ini antara lain:

- a. (Seven, Y. 2025) Pengaruh Penggunaan Serbuk Batu Basalt Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton. Dari hasil pengujian yang dilakukan, serbuk batu basalt memiliki kualitas yang baik dan memberikan kuat tekan yang relatif sama dengan beton kontrol. Dimana kuat tekan beton kontrol setelah 28 hari mencapai 20,170 Mpa dan pada substitusi 50% serbuk batu basalt dalam campuran beton, yaitu 20,594, substitusi 60% 20,170 Mpa dan substitusi 70% 20,594 Mpa. Dengan demikian serbuk batu basalt dapat digunakan sebagai alternatif agregat halus dalam campuran.
- b. (Panjaitan & Harahap, 2023) melakukan penelitian mengenai perbandingan kuat tekan beton yang menggunakan agregat basalt dan perendaman dalam dua jenis air, yaitu air sulfur dan air tawar. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa beton yang direndam dalam air tawar memiliki kuat tekan sebesar 32,46 MPa pada umur 28 hari, sedangkan yang direndam dalam air sulfur hanya mencapai 28,38 MPa. Temuan ini menunjukkan pentingnya pengaruh lingkungan terhadap sifat beton yang menggunakan agregat basalt sebagai bahan tambah.
- c. Penelitian oleh (Yuliansyah & Sujatmiko, 2019) mengenai analisis variasi ukuran agregat basalt pada beton mutu K-250 memberikan informasi yang relevan tentang pengaruh ukuran agregat terhadap kekuatan beton. Penelitian ini menganalisis penggunaan agregat basalt scoria pada beberapa ukuran berbeda, yaitu 9,50 mm, 4,75 mm, dan campuran keduanya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan agregat basalt dengan ukuran 9,50 mm–4,75 mm memberikan hasil terbaik dengan kuat tekan 335,66 kg/cm² pada umur 28 hari, yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton yang menggunakan ukuran

agregat lebih besar. Penelitian ini menekankan pentingnya pemilihan ukuran agregat yang tepat dalam campuran beton basalt, yang dapat mempengaruhi distribusi beban dan kekuatan tekan beton

- d. Selain itu, penelitian oleh (Malik Ibrahim & Saelan, 2019) juga menguji penggunaan abu batu dalam campuran beton normal dengan variasi 0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 80 %, dan 100 %. Hasil memperlihatkan bahwa penggunaan abu batu melebihi 40 % secara signifikan menurunkan kuat tekan beton akibat karakteristik fisik abu batu yang memiliki daya serap air lebih tinggi dan ukuran butir lebih halus dibanding pasir alam. Namun demikian, substitusi 20 %–30 % masih dapat digunakan secara efektif tanpa menurunkan performa beton secara signifikan.
- e. Adapun penelitian sebelumnya oleh (Padang, I. & Lodi Honta, Z. 2024). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penggunaan abu kulit kopi Toraja sebagai substitusi parsial semen terhadap kuat tekan beton. Uji tekan dilakukan pada beton berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm setelah 3, 7, 14, dan 28 hari. Dari pengujian diperoleh kuat tekan beton meningkat seiring bertambahnya usia beton. Pada umur 28 hari, beton tanpa substitusi abu kulit kopi mencapai kuat tekan 25,45 MPa. Beton dengan 5% abu kulit kopi memiliki kuat tekan 22,62 MPa, sementara variasi 7,5% menunjukkan hasil terbaik dengan kuat tekan 24,13 MPa. Namun, pada substitusi 10%, kuat tekan menurun menjadi 20,02 MPa. Meskipun abu kulit kopi dapat digunakan sebagai substitusi parsial semen, hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan beton yang dihasilkan masih di bawah beton normal. Substitusi optimal terjadi pada 7,5%, yang mencapai 84% dari kekuatan beton normal.
- f. (Madandan, E. 2024)Pengaruh Penambahan Abu Tanaman Paku Ekor Kuda Sebagai Bahan Tambah Terhadap Kuat Tekan Beton. Dengan variasi penambahan aabu tanaman paku ekor kuda 1%, 3% dan 5% dari berat semen. Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan beton pada umur 28 hari pada penambahan 1% sebesar 15,71 Mpa, 3% sebesar 18,471 Mpa dan 5% sebesar 16,348 Mpa, sedangkan kuat tekan rata-rata beton kontrol 17,622 Mpa. Dari

hasil ini, variasi penambahan abu 3% merupakan yang paling optimum dengan peningkatan kuat tekan sebesar 4,819% dibanding beton kontrol. Sebaliknya, variasi 1% dan 5% mengalami penurunan kuat tekan masing-masing sebesar 10,843% dan 7,229%.

- g. (Septian, 2025) Studi Pengaruh Penggunaan Abu Kulit Buah Kakao Terhadap Kuat Tekan Beton. Penambahan abu kulit buah kakao pada campuran beton dengan variasi 0%, 1%, 3%, dan 5% menunjukkan bahwa nilai kuat tekan optimum dicapai pada penambahan 1%, yaitu sebesar 21,019 MPa, yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton kontrol yaitu 20,170 MPa. Namun, penambahan kadar abu di 5% justru menyebabkan penurunan kuat tekan beton. Pada variasi 5% kuat tekan turun menjadi 18,895 MPa, yang lebih rendah dari beton normal. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun abu kulit buah kakao memiliki potensi sebagai bahan pozzolan, penggunaannya perlu dibatasi agar tidak melebihi ambang batas optimum.
- h. (Matana, H. 2022) Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Keong Bakau Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton. Dengan variasi penambahan abu cangkang keong bakau 3%, 7% dan 10%. Hasil penelitian uji kuat tekan pada umur 28 hari pada penambahan abu cangkang keong bakau 3% (27,648 MPa), 7% (29,818 MPa) dan 10% (33,404 MPa) sedangkan kuat tekan beton normal (26,04 MPa). Sehingga menunjukkan bahwa penambahan abu cangkang keong bakau dapat menambah kuat tekan beton dan mempunyai nilai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan abu batu dalam beton dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga batas optimal tertentu, umumnya berkisar antara 1%-10%. Berdasarkan penelitian terdahulu, belum ada kajian yang secara khusus meneliti pengaruh abu batu andesit dari Toraja sebagai bahan tambah semen. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengisi celah tersebut.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian beton

Beton merupakan material komposit yang terbentuk dari campuran semen portland, agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambah (*admixture*) dengan perbandingan tertentu yang setelah mengalami proses hidrasi akan mengeras dan memiliki kekuatan tekan tinggi (Mulyono, 2015). (SNI 2847:2019) tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, beton didefinisikan sebagai campuran antara semen hidrolik, agregat halus dan kasar, serta air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Beton memiliki sifat kuat terhadap tekan tetapi lemah terhadap tarik. Sifat-sifat beton dapat di lihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Sifat-sifat beton

No	Sifat Beton	Keterangan
1.	Kuat Tekan	Beton memiliki kuat tekan tinggi, mampu menahan beban tekan besar; parameter utama mutu beton.
2.	Kuat Tarik	Beton memiliki kuat tarik rendah, biasanya diperkuat dengan tulangan baja (beton bertulang).
3.	<i>Workability</i>	Kemudahan pengerjaan beton (mencampur, menuang, memadatkan), dipengaruhi air-semen ratio & agregat.
4.	Daya Tahan (<i>Durability</i>)	Tahan terhadap cuaca, suhu, kimia, dan abrasi; beton tahan lama jika <i>curing</i> dan komposisi baik.
5.	Kepadatan & Porositas	Beton padat → kuat tekan & daya tahan tinggi; pori-pori tinggi → risiko retak dan korosi.
6.	Susut & Retak	Beton mengalami penyusutan saat kering; dapat menimbulkan retak jika perawatan kurang.
7.	Modulus Elastisitas	Mengukur kekakuan beton; menentukan deformasi beton saat diberi beban.
8.	Permeabilitas	Kemampuan beton menahan aliran air; rendah → tahan serangan kimia & korosi tulangan.

Klasifikasi mutu beton ditentukan oleh kuat tekan yang diuji pada umur 28 hari, diukur dalam satuan Megapascal (MPa). Mutu beton yang berbeda memiliki aplikasi yang berbeda pula, tergantung pada beban yang ditanggung dan kondisi lingkungan. Menurut SNI 2847:2019 yang mengatur persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, klasifikasi mutu beton harus memenuhi standar kualitas dan kekuatan yang sesuai dengan fungsi strukturalnya. Berikut adalah klasifikasi beton berdasarkan mutu:

a. Beton Mutu Rendah

Beton mutu rendah biasanya memiliki kuat tekan di bawah 20 MPa. Beton ini sering digunakan untuk elemen-elemen non-struktural seperti trotoar, jalan setapak, dan lantai untuk bangunan satu lantai. Kelebihan dari beton mutu rendah adalah biaya yang lebih murah dibandingkan dengan beton mutu tinggi, meskipun kualitas dan ketahanannya juga lebih rendah.

b. Beton Mutu Sedang

Beton mutu sedang memiliki kekuatan tekan antara 20 MPa hingga 40 MPa. Beton jenis ini digunakan dalam struktur yang lebih signifikan, seperti kolom, balok, dan pelat lantai pada bangunan bertingkat rendah hingga sedang. Kekuatan ini cukup memadai untuk mendukung beban pada banyak proyek konstruksi, seperti rumah tinggal dan gedung komersial.

c. Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi memiliki kekuatan tekan lebih dari 40 MPa. Jenis beton ini sering digunakan dalam pembangunan infrastruktur penting, jembatan, gedung bertingkat tinggi, dan struktur yang mengalami beban berat. Penggunaan aditif dan pengurangan rasio air-semen seringkali diperlukan untuk mencapai kekuatan ini. Beton mutu tinggi memiliki daya tahan yang lebih baik terhadap beban berat dan kondisi lingkungan yang ekstrem.

d. Beton Mutu Ultra Tinggi

Beton mutu ultra tinggi (*Ultra-High Performance Concrete*) adalah jenis beton yang memiliki kekuatan tekan lebih dari 100 Mpa. Beton ini sering digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan ketahanan sangat tinggi, seperti jembatan panjang dan struktur di lingkungan ekstrim.

2.2.2 Material penyusun beton

Beton tersusun atas beberapa komponen utama, yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, air, serta bahan tambahan (*admixture*) yang masing-masing memiliki fungsi penting dalam menentukan sifat dan kualitas beton yang dihasilkan. Komposisi dan karakteristik setiap material akan memengaruhi kekuatan, keawetan, serta *workability* beton (Sijabat et al., 2024)

a. Semen

Semen merupakan bahan pengikat hidrolik yang berfungsi merekatkan partikel agregat menjadi satu kesatuan massa padat setelah terjadi proses hidrasi. Menurut (Afif & Akbar Bale, 2019) reaksi antara semen dan air akan membentuk senyawa hidrat seperti *calcium silicate hydrate* (C–S–H) yang berperan utama dalam memberikan kekuatan pada beton. Jenis semen yang umum digunakan dalam pembuatan beton adalah Semen PCC, karena memiliki daya ikat dan kecepatan pengerasan yang baik untuk beton struktural. Kandungan utama semen terdiri dari kalsium oksida (CaO), silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), dan besi oksida (Fe₂O₃), yang masing-masing berkontribusi terhadap sifat mekanik beton.

Jenis semen *portland* dan penggunaannya bisa dilihat di tabel 2.2 dengan komposisi dan kehalusan semen pada tabel 2.3 berikut.

Tabel 2. 2 Jenis semen portland dan penggunaannya

No.	Jenis semen <i>portland</i>	Penggunaan
I	Semen normal	Pembuatan beton umum dimana sifat khas dari jenis-jenis semen lain tidak diperlukan dan tidak ada serangan sulfat.
II	Semen moderat	Pembuatan beton yang memerlukan panas hidrasi lebih semen jenis I dan tahan terhadap pengaruh kadar sulfat sedang.
III	Semen kuat awal tinggi	Pembutan beton yang memerlukan kuat awal tinggi/pengerasan awal yang lebih cepat.
IV	Semen panas rendah	Pembuatan masif yang memerlukan hidrasi rendah
V	Semen tanah sulfat	Pembutan beton yang memerlukan ketahanan terhadap pengaruh kadar sulfat tinggi.

Sumber : (Susanti, 2011)

Tabel 2. 3 Komposisi dan kehalusan semen

No.	Jenis P.C	Komposisi				Kehalusan cm ² /gr
		ASTM	C35	C25	C3A	
I	Normal	50	24	11	8	1800
II	Moderat	42	33	5	13	1800
III	Kuat awal	60	13	9	8	2600
IV	Panas rendah	26	50	5	12	1900
V	Tahan sulfat	40	40	4	9	1900
Sifat komponen kimia		Cepat mengeras	Lambat mengeras	%kecil lebih tahan sulfat	Mengurangi	Mempercepat hidrasi dan kekuatan

Sumber : (Susanti, 2011)

b. Agregat Halus

Agregat halus (pasir atau abu batu halus) berfungsi mengisi rongga di antara agregat kasar dan membantu meningkatkan kepadatan campuran beton. Karakteristik agregat halus, seperti gradasi butiran, kebersihan, dan bentuk partikel, sangat memengaruhi *workability* dan kekuatan beton. Penggunaan agregat halus yang memiliki kadar lumpur tinggi (>5 %) dapat menghambat ikatan antara pasta semen dan agregat, sehingga menurunkan kuat tekan. Sementara itu, agregat halus dengan bentuk butiran tajam dan permukaan kasar dapat meningkatkan daya lekat antarkomponen beton.

Abu batu yang dihasilkan dari proses pemecahan batu (*stone crusher*) juga dapat dimanfaatkan sebagai alternatif agregat halus. (Malik Ibrahim & Saelan, 2019), abu batu memiliki gradasi halus dan sifat pozzolanik yang mampu memperbaiki struktur mikro beton dengan mengisi pori-pori kecil di antara partikel agregat, sehingga meningkatkan kepadatan beton. Namun, penggunaannya harus dikontrol agar tidak menimbulkan kelebihan partikel halus yang justru mengurangi kuat tekan. Berikut syarat gradasi agregat dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Syarat gradasi agregat

Ukuran ayakan		Persentase lolos ayakan			
		Gradasi zone 1 (kasar)	Gradasi zone 2 (sedang)	Gradasi zone 3 (halus)	Gradasi zone 4 (amat halus)
(in)	(mm)				
$\frac{3}{4}$	10,0	100	100	100	100
No.4	5,0	90-100	90-100	90-100	95-100
No.8	2,36	60-95	75-100	85-100	95-100
No.16	1,18	30-70	55-90	75-100	90-100
No.30	600(0,6mm)	15-34	35-59	60-79	80-100
No.50	300(0,3mm)	5-20	8-30	12-40	15-50
No.100	150(0,15mm)	0-10	0-10	0-10	0-15
Modulus kehalusan (<i>Finenes modulus</i>)		4,00-2,27	3,37-2,1	2,78-1,71	2,25-1,35

Sumber : (Susanti, 2011)

c. Agregat kasar

Agregat kasar berfungsi sebagai kerangka utama beton yang menahan sebagian besar beban tekan. Agregat ini biasanya berupa kerikil atau batu pecah dengan ukuran 5–40 mm. Penelitian (Sijabat et al., 2024) menunjukkan bahwa agregat kasar dengan permukaan kasar dan bentuk bersudut menghasilkan lekatan yang lebih baik dengan pasta semen dibanding agregat berbentuk bulat. Selain itu, ukuran maksimum agregat kasar juga berpengaruh terhadap kekuatan: semakin kecil ukuran agregat, semakin rapat struktur beton yang terbentuk, meskipun jumlah pasta semen yang dibutuhkan menjadi lebih besar. Untuk persyaratan mutu dapat di lihat pada tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Persyaratan mutu

No.	Macam pemeriksaan	Persyaratan		Cara pemeriksaan sesuai
		Agregat kasar	Agregat halus	
I	-Besar butir/gradasi agregat halus dan kasar -Butir halus dalam agregat halus dan kasar (maksimum) -Zat organik dalam agregat halus	3% (50 mikron no.30) warna standar	1% (70 mikron)	SII 0051-74 SII 0076-75 SII 0076-75 PB. 0207-76. SII 0077-75
I'	-Berat jenis minimum -Peresapan maksimum -Berat isi minimum	2,5 5% 1,2 kg/1	2,5 2% 1,2 kg/1	PB 0203-76 PB 0202-76 PB 0204-76
II	-Partikel lunak maksimum -Partikel ringan maksimum -Butir pipih/Panjang dalam agregat kasar maksimum	1% 1% -	1% 1% 15%	SII 0053-74 SII 0475-81 SII 0456-81
II'	-Abrasi keasuan mekanis (<i>Los Angeles</i>), maksimum -Sifat kekal agregat terhadap Na ₂ , So ₄ , atau Mg So ₄ maksimum	- 4%	45% 5%	PB. 0206-76 SII 0087-75 SII 0088-75
III	-Kekerasan agregat kasar (<i>Rudeloff</i>) -Kekerasan agregat halus	- -	- -	SII 0079-75 SII 0078-75
IV	-Sifat silika reaktif campuran semen dengan agregat beton (metode batang adukan) -Cara uji cepat sifat silika reaktif agregat beton (metode kimia)	- -	- -	SII 0455-75 SII 0582-81

Sumber : (Susanti, 2011)

d. Air

Air berfungsi sebagai medium yang memungkinkan reaksi kimia hidrasi antara semen dan agregat. Rasio air-semen (*water-cement ratio*) menjadi salah satu faktor paling berpengaruh terhadap kuat tekan; semakin kecil rasio tersebut, semakin tinggi kepadatan dan kekuatan beton yang dihasilkan. Air juga berperan dalam menentukan kelecakan (*workability*) campuran beton. Kualitas air yang digunakan harus bebas dari bahan organik, minyak, dan garam yang dapat

mengganggu proses hidrasi. (SNI 2847, 2019). Kandungan garam terlarut, minyak, asam, alkali, atau zat organik yang berlebihan dapat menyebabkan:

- a. Penurunan kekuatan tekan beton.
- b. Korosi pada tulangan baja akibat peningkatan kandungan klorida.
- c. Gangguan pada waktu ikat semen dan proses pengerasan.
- d. Peningkatan porositas dan penurunan *durabilitas*.
- e. Bahan tambah (*Admixture*)

Bahan tambahan digunakan untuk memodifikasi sifat beton, baik pada kondisi segar maupun setelah mengeras. Penggunaan *admixture*s memungkinkan pengendalian karakteristik beton secara lebih fleksibel, seperti kecepatan pengerasan, kelecakan, *durabilitas*, maupun aspek estetika. Berdasarkan jenisnya, bahan tambah terbagi menjadi dua kelompok:

- a. Bahan tambahan kimia, seperti *superplasticizer* atau *retarder*, yang mengatur waktu pengerasan dan meningkatkan *workability*.
- b. Bahan tambahan mineral, seperti abu batu, *fly ash*, dan *slag*, yang berfungsi memperbaiki gradasi butiran dan mengisi rongga mikro.

2.3 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan beton merupakan salah satu parameter utama yang digunakan untuk menilai mutu beton dan kualitas suatu campuran beton. Kuat tekan menunjukkan kemampuan beton menahan gaya tekan maksimum hingga mengalami kehancuran. Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui sejauh mana struktur beton mampu menahan beban tekan yang bekerja pada elemen struktural seperti kolom, balok, dan pelat lantai.

Dalam konteks struktural, kuat tekan menjadi tolak ukur mutu beton. Berdasarkan klasifikasi mutu beton menurut (SNI 2847, 2019) kuat tekan beton ($f'c$) dinyatakan dalam satuan Megapascal (MPa) dan biasanya diuji pada umur 28 hari. Nilai ini mencerminkan kemampuan beton mencapai kekuatan rencana yang ditentukan dalam desain struktur bangunan.

Menurut (SNI 1974, 2011) menyatakan bahwa rumus kuat tekan beton dapat dihitung dengan persamaan 2.1

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

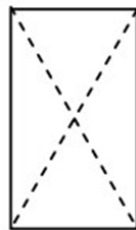
Keterangan:

f'_c = kuat tekan (MPa)

P = beban tekan (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

Berdasarkan (SNI 1974, 2011) terdapat 5 jenis pola retak (bentuk kehancuran) pada pengujian kuat tekan silinder beton dapat dilihat pada gambar 2.1-2.5 berikut.



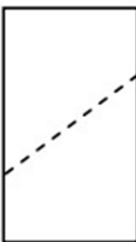
Gambar 2.1 Bentuk kehancuran kerucut



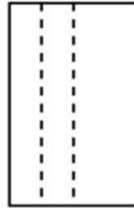
Gambar 2.2 Bentuk kehancuran kerucut dan belah



Gambar 2.3 Bentuk kehancuran kerucut dan geser



Gambar 2.4 Bentuk kehancuran geser



Gambar 2.5 Bentuk kehancuran sejajar sumbu tegak (*columnar*)

2.4 Batu Andesit



Gambar 2. 6 Batu andesit

Batu andesit adalah salah satu jenis batuan beku vulkanik. Batu ini terbentuk dari hasil pembekuan magma yang keluar ke permukaan bumi dan mengalami pendinginan cukup lambat, sehingga menghasilkan batu dengan tekstur halus hingga sedang. Warna batu andesit umumnya abu-abu kehitaman dengan permukaan keras, padat, dan tidak mudah hancur. Karena sifatnya yang kuat dan tahan aus, batu andesit banyak digunakan sebagai bahan bangunan, bahan peneras jalan, maupun sebagai bahan andesit dalam pembuatan beton (Hendrajaya et al., 2022).

Menurut Noor (2012), batu andesit tersusun dari beberapa mineral utama, yaitu plagioklas, piroksen, dan amfibol. Kandungan mineral tersebut membuat batu andesit memiliki komposisi kimia yang lebih dominan. Kandungan silika yang relatif tinggi juga menjadikan batu andesit lebih keras dan lebih padat dibandingkan dengan batuan vulkanik lainnya seperti batu kapur atau batu pasir. Selain itu, struktur kristal andesit yang terdiri dari piroksen membuat batu ini memiliki daya

tahan tinggi terhadap tekanan dan cuaca, serta sangat tahan terhadap keausan dan serangan kimia.

Kandungan silika yang relatif tinggi ini menjadikan batu andesit lebih keras dan lebih padat dibandingkan dengan batuan vulkanik lainnya seperti batu kapur atau batu pasir. Selain itu, struktur kristal andesit yang terdiri dari piroksen membuat batu ini memiliki daya tahan tinggi terhadap tekanan dan cuaca, serta sangat tahan terhadap keausan dan serangan kimia.

Dari sisi sifat fisik, Batu ini memiliki berat jenis 2,8–3,0 g/cm³, kekerasan tinggi dan kuat tekan mencapai 100–300 MPa, sehingga tahan terhadap tekanan dan aus. Porositasnya rendah dengan penyerapan air 1–3%, menjadikannya material yang tahan terhadap cuaca dan kondisi lingkungan. Selain itu, kandungan silika dan alumina yang cukup tinggi membuat abu batu andesit berpotensi memberikan sedikit efek pozzolanik, yaitu kemampuan bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen dan membentuk senyawa baru yang memperkuat beton.

2.5 Abu Batu

Abu batu andesit merupakan hasil sampingan dari proses pemecahan batu andesit yang berukuran sangat halus. Material ini digunakan sebagai bahan tambah mineral dalam campuran beton dengan tujuan memperbaiki sifat mekanik, khususnya kuat tekan beton. Berbeda dengan penggunaannya sebagai pengganti pasir, abu batu andesit pada penelitian ini berperan sebagai *additive* terhadap semen dalam jumlah kecil, sehingga lebih berpengaruh pada peningkatan kepadatan dan pengisian rongga beton.

Kandungan silika yang cukup tinggi berpotensi memberikan reaksi pozzolanik ringan, yaitu reaksi antara silika aktif dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)₂) hasil hidrasi semen untuk membentuk senyawa pengikat C–S–H (*Calcium Silicate Hydrate*) yang berperan meningkatkan kekuatan beton. Selain itu, kehalusan dan bentuk partikel yang bersudut menjadikan abu batu andesit efektif sebagai pengisi (*filler*) yang dapat mengurangi porositas dan memampatkan struktur beton.

Dengan dosis rendah, abu batu andesit dapat meningkatkan kuat tekan dan durabilitas beton melalui kombinasi efek pengisian rongga dan pembentukan senyawa pengikat sekunder. Namun, penggunaan yang berlebihan dapat

menurunkan *workability* karena meningkatnya luas permukaan partikel yang menyerap air lebih banyak. Oleh karena itu, pemakaian abu batu andesit perlu dibatasi pada kadar optimum agar memberikan hasil maksimal tanpa mengganggu sifat pengerjaan beton.

Secara umum, abu batu andesit memiliki beberapa karakteristik fisik dan kimia yang penting untuk konstruksi beton:

- a. Ukuran partikel halus, sehingga dapat mengisi rongga antar butiran agregat.
- b. Permukaan kasar dan poros, yang dapat meningkatkan daya lekat dengan pasta semen.
- c. Kandungan mineral silika (SiO_2) yang cukup tinggi, sehingga berperan sebagai bahan penguat (*pozzolanic effect*) dalam campuran beton.

2.6 Bahan Tambah Sebagai Pengisi Rongga (Filler Effect)

Bahan tambah mineral dengan ukuran lolos saringan no. 200 (0,075 mm) butiran yang sangat halus, seperti abu batu andesit, memiliki peran utama sebagai bahan pengisi atau dikenal dengan istilah *filler effect* di dalam campuran beton. Mekanisme ini bekerja secara fisik di mana partikel-partikel halus tersebut mengisi celah atau rongga mikro di antara butiran agregat dan pasta semen yang tidak dapat terjangkau oleh agregat halus biasa.

Pengisian rongga-rongga mikro ini secara langsung meningkatkan densitas atau kepadatan massa beton. Meskipun tidak memberikan kontribusi kimiawi yang signifikan seperti semen dalam proses hidrasi, keberadaan *filler* dari abu batu andesit mampu menciptakan struktur beton yang lebih masif dan kedap air. Hal ini terbukti secara empiris dalam penelitian di mana penggunaan proporsi yang tepat dapat membantu pencapaian kuat tekan target melalui perbaikan mikrostruktur tanpa mengubah sifat dasar pengikatan semen.