

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton sering digunakan pada berbagai konstruksi teknik sipil, seperti bangunan gedung, jembatan, jalan, dan infrastruktur lainnya. Pada umumnya, beton tersusun atas agregat kasar, agregat halus, semen dan air kemudian mengalami proses hidrasi hingga mengeras. Untuk memperoleh karakteristik tertentu, campuran beton dapat diberi bahan tambah yang berfungsi meningkatkan atau memodifikasi sifat sifat beton (Asroni, 2010).

Beton merupakan material konstruksi yang memiliki kemampuan tinggi dalam menerima beban tekan, sehingga sering digunakan pada bagian struktur seperti kolom, balok, pelat, dan pondasi. Nilai kuat tekan yang dihasilkan beton dipengaruhi oleh sejumlah parameter, seperti mutu material penyusun, nilai perbandingan air terhadap semen, proses pengadukan, pemadatan, serta perawatan setelah pengecoran. Apabila kualitas campuran dan pelaksanaan pekerjaan dilakukan dengan baik, sehingga nilai kuat tekan beton yang diperoleh akan meningkat (Mulyono, 2004).



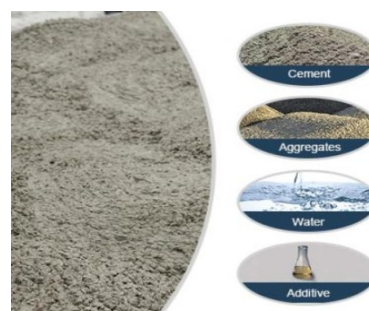
Gambar 2.1. Beton
Sumber: 99.co, (2026)

Mutu beton sangat dipengaruhi oleh bahan penyusun yang digunakan, perbandingan campuran, penggunaan bahan tambah sesuai kebutuhan, serta cara pelaksanaan dan perawatannya. Tahap pelaksanaan meliputi proses pengadukan,

pencampuran dan pengecoran beton. Beton segar yang berkualitas memiliki *workability* yang baik serta tidak mengalami segregasi dan *bleeding*. Sementara itu, beton yang berkualitas memiliki kekuatan tinggi, durabilitas yang baik, serta mampu menahan penetrasi air beton terutama pada struktur yang sering terkena paparan air (Tjokrodinuljo, 2007).

2.2 Beton Integral

Beton integral merupakan jenis beton yang menggunakan bahan tambah kead air (*integral waterproofing admixture*) yang dicampurkan ke dalam adukan beton saat proses pencampuran. Berbeda dengan beton normal yang hanya tersusun atas semen, agregat halus, agregat kasar, dan air, beton integral memiliki tambahan bahan *waterproofing* yang berfungsi untuk meningkatkan ketahanan beton terhadap penetrasi air dan meningkatkan durabilitas struktur beton (Songkhla dkk., 2024). Salah satu jenis bahan tambah yang umum digunakan adalah *crystalline waterproofing*, yaitu bahan yang tersusun atas semen, pasir silika halus, dan senyawa kimia aktif yang mampu bereaksi dengan produk hidrasi semen (American Concrete Institute, 2010). Reaksi tersebut menghasilkan kristal tidak larut yang tumbuh dan mengisi pori-pori serta retakan mikro pada beton sehingga menghambat pergerakan air di dalam struktur beton.



Gambar 2.2. Beton Integral
Sumber : tekniksipil.id, (2026)

Penetrasi air dan zat agresif ke dalam struktur internal beton dapat mempercepat proses degradasi beton melalui terjadinya korosi pada tulangan, pembentukan retak, serta penurunan kualitas dan umur layan struktur. Masuknya

ion klorida dan zat agresif lainnya melalui pori-pori beton dapat merusak lapisan pelindung pada tulangan sehingga menurunkan durabilitas beton dalam jangka Panjang (Fuhaid & Niaz, 2022).

Penambahan bahan *integral waterproofing* dapat meningkatkan ketahanan beton terhadap penetrasi air melalui penurunan porositas dan peningkatan kerapatan struktur beton. Bahan ini bekerja dengan menghambat jalur masuk air, ion klorida, dan zat agresif lainnya sehingga beton menjadi lebih tahan terhadap lingkungan lembap maupun korosif serta memiliki durabilitas yang lebih baik. Namun, penggunaannya perlu dikendalikan karena dosis yang berlebihan dapat memengaruhi *workability* dan berpotensi menurunkan kuat tekan beton (Jahandari dkk., 2023)

2.3 Agregat Kasar

Batu pecah adalah jenis agregat dengan ukuran besar yang menjadi bagian penting dalam menyusun volume beton. Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya mencapai 70% hingga 75% dari seluruh volume, sehingga kualitas agregat kasar menjadi salah satu faktor utama yang mempengaruhi kemampuan beton bekerja dengan baik. Agregat disebut sebagai agregat kasar jika ukurannya lebih besar dari 4,8 mm dan tersisa di saringan 0,25 inci. Menurut (Tjokrodimuljo, 2007). Berdasarkan aturan dari Departemen Pekerjaan Umum (1982), batu pecah yang dipakai sebagai bahan agregat kasar dalam campuran beton harus memenuhi syarat-syarat berikut:

1. Kriteria fisik
 - a. Ukuran maksimum agregat kasar harus memenuhi ketentuan, yaitu tidak melebihi seperlima dimensi terkecil cetakan, sepertiga ketebalan pelat, atau tiga perempat jarak bersih minimum antar tulangan.
 - b. Berdasarkan pengujian menggunakan bejana Rudeloff, persentase agregat yang hancur dan lolos ayakan 2 mm tidak boleh melampaui 16% dari total berat sampel.

- c. Hasil pengujian ketahanan aus menggunakan mesin Los Angeles menunjukkan bahwa persentase agregat yang hancur tidak diperkenankan melebihi 27% dari berat sampel.
 - d. Kandungan lumpur dalam agregat dibatasi maksimum sebesar 1% dari berat agregat.
 - e. Persentase butiran agregat yang berbentuk pipih dan memanjang dibatasi hingga 20% dari total berat, terutama untuk penggunaan pada beton mutu tinggi.
2. Syarat kimia
- a. Nilai kehilangan berat agregat akibat pengujian kekekalan menggunakan Na_2SO_4 tidak boleh melebihi 12%, sedangkan pada pengujian dengan MgSO_4 dibatasi maksimum 18%.
 - b. Agregat yang digunakan harus memiliki potensi reaksi alkali yang negatif agar tidak menimbulkan kerusakan pada beton.

Ketentuan mengenai batas gradasi agregat kasar berdasarkan SNI 7656:2012 dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Batas – Batas Gradasi Agregat Kasar

| Ukuran ayakan (mm) | Pemisahan Ukuran | | | |
|--------------------------|--|--------------|--------------|-------------|
| | Persen (%) berat yang lewat masing-masing ayakan | | | |
| | 4,75 – 19 mm | 19 – 36,5 mm | 37,5 – 75 mm | 75 – 150 mm |
| 177 | | | | 100 |
| 150 | | | | 90 – 100 |
| 100 | | | 100 | 20 – 55 |
| 75 | | | 90 – 100 | 0 – 15 |
| 50 | | 100 | 20 – 55 | 0 – 5 |
| 37,5 | | 90 – 100 | 0 – 10 | |
| 25 | 100 | 20 – 55 | 0 – 5 | |
| 19 | 90 – 100 | 0 – 15 | | |
| 9,5 | 20 – 55 | 0 – 5 | | |
| 4,75 | 0 – 10 | | | |
| 2,36 | 0 – 5 | | | |

Sumber: SNI 7656:2012



Gambar 2.3. Agregat Kasar

2.4 Agregat Halus

Dalam campuran beton, agregat berukuran halus merupakan material dengan ukuran butir maksimum 4,75 mm dan umumnya dikenal sebagai pasir. Persyaratan Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F, agregat halus harus memenuhi kriteria mutu berikut:

1. Agregat halus harus memiliki butiran yang keras, kuat, dan bersudut tajam.
2. Agregat halus harus memiliki ketahanan yang baik terhadap pengaruh cuaca sehingga tidak mudah mengalami kerusakan, pecah, atau hancur.
3. Pada pengujian kekekalan menggunakan larutan sulfat, persentase agregat yang mengalami kerusakan tidak boleh melebihi 12% untuk Natrium Sulfat (Na_2SO_4) dan 10% untuk Magnesium Sulfat (MgSO_4).
4. Agregat halus harus memiliki kandungan lumpur kurang dari 5% dari berat total. Jika persentasenya melebihi batas yang ditentukan, maka agregat perlu dicuci sebelum digunakan dalam campuran beton.
5. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik yang dapat menurunkan mutu beton. Pengujian dilakukan dengan merendam agregat dalam larutan NaOH 3%, dan warna cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dibandingkan larutan pembanding.
6. Agregat halus harus memiliki distribusi ukuran butir yang baik agar jumlah rongga dalam campuran dapat diminimalkan. Nilai modulus kehalusan harus berada pada rentang 1,5–3,8. Selain itu, hasil analisis saringan harus memenuhi salah satu zona gradasi Zona 1, 2, 3, atau dengan ketentuan:

- a. Material yang tertahan pada saringan 4,8 mm maksimum 2% dari berat total.
- b. Material yang tertahan pada saringan 1,2 mm maksimum 10% dari berat total. Sisa diatas ayakan 0,30 mm, maksimal 15% dari berat.
- c. Material yang tertahan pada saringan 0,30 mm maksimum 15% dari berat total.
- d. Agregat halus tidak boleh mengandung garam.

Rentang gradasi agregat halus berdasarkan SNI 7656:2012 ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Batas – Batas Gradasi Agregat Halus

| Ukuran Ayakan (mm) | Zona I | Zona II | Zona III | Zona IV |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|
| 10 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4,8 | 90 – 100 | 90 – 100 | 90 – 100 | 95 – 100 |
| 2,4 | 60 – 95 | 75 – 100 | 85 – 100 | 95 – 100 |
| 1,2 | 30 – 70 | 55 – 90 | 75 – 100 | 90 – 100 |
| 0,6 | 15 – 34 | 35 – 59 | 60 – 79 | 80 – 100 |
| 0,3 | 5 – 20 | 8 – 30 | 12 – 40 | 15 – 50 |
| 0,15 | 0 – 10 | 0 – 10 | 0 – 10 | 0 – 15 |

Sumber: SNI 7656:2012

Keterangan:

Zona I = Pasir Kasar

Zona II = Pasir Agak Kasar

Zona III = Pasir Agak Halus

Zona IV = Pasir Halus



Gambar 2.4. Agregat Halus

2.5 Semen Portland

Semen *portland* merupakan pengikat hidrolis, dibuat dengan menggiling klinker yang dibuat dengan membakar batu kapur dan tanah liat bersama dengan gipsum. Ketika dicampur dengan air, bahan ini mengeras melalui hidrasi dan berfungsi sebagai pengikat utama pada beton (Eshkoraev, t.t.).

Sifat dan kinerja semen *portland* dipengaruhi oleh beberapa karakteristik, seperti tingkat kehalusan, panas hidrasi, dan komposisi senyawa penyusunnya. Karakteristik tersebut disajikan pada Tabel 2.3. dan Tabel 2.4.

Tabel 2.3. Hubungan Antara Kehalusan dan Panas Hidrasi Tipe Semen

| Tipe Semen | Kehalusan (cm^2/g) dengan alat turbidimeter ASTM C 115 | Panas hidrasi umur 28 hari (cal/g) |
|------------|--|------------------------------------|
| I | 1790 | 87 |
| II | 1890 | 76 |
| III | 2030 | 105 |
| IV | 1910 | 60 |

Sumber: SNI 7656:2012

Tabel 2.4. Unsur-Unsur Penyusun Utama Semen

| Nama Unsur | Simbol | Komposisi Kimia |
|---------------------------|--------|--|
| Trikalsium Silikat | C3S | 3CaOSiO_2 |
| Dikalsium Silikat | C2S | 2CaOSiO_2 |
| Trikalsium Aluminat | C3A | $2\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ |
| Tetrakalsium Aluminferite | C4AF | $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ |

Sumber: Tjokrodinuljo, K. (1995). Teknologi Beton



Gambar 2.5. Semen Portland

2.6 Fly Ash

Fly ash merupakan salah satu material alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk pengganti semen sebagai pengikat dari beton, *Fly ash* merupakan hasil pembakaran batu bara yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan substitusi parsial semen dalam campuran beton untuk mengurangi dampak limbah padat, *fly ash* juga memiliki karakteristik yang signifikan untuk memperbaiki karakteristik beton. Pada kondisi beton segar, butiran halus *fly ash* mampu meningkatkan *workability* serta meminimalisir risiko *bleeding* dan segregasi. Sedangkan pada beton keras, integrasi material ini terbukti mampu meningkatkan kepadatan, durabilitas, dan kekuatan tekan jangka panjang, sekaligus mereduksi penyusutan yang sering memicu keretakan (Destyanto, 2018).

Secara umum, *fly ash* diklasifikasikan ke dalam dua jenis utama, yakni *fly ash* kelas F dan kelas C. *Fly ash* kelas F memiliki kandungan CaO sekitar 10% dan umumnya berasal dari pembakaran batubara sub-bituminus, yang sering disebut sebagai *fly ash* dengan kandungan kalsium tinggi (HCFA) karena kadar CaO yang relatif besar sehingga menunjukkan sifat menyerupai semen. *Fly ash* tergolong sebagai bahan pozzolan sintesis karena mengandung SiO₂ dan Al₂O₃ dalam jumlah tinggi serta kadar CaO yang rendah (Indriyantho dkk., 2022).

Berdasarkan komposisi kimia dan sifat reaktivitasnya, *fly ash* dibedakan menjadi beberapa tipe sesuai dengan SNI 2460:2014 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Tipe *Fly Ash*

| Tipe <i>Fly Ash</i> | Kandungan Utama | Karakteristik | Penggunaan |
|---------------------|--|--|--|
| Kelas F | Silika (SiO ₂), Alumina (Al ₂ O ₃), dan besi tinggi, kadar CaO rendah | Bersifat pozzolanik, membutuhkan semen untuk reaksi pengikatan | Beton mutu tinggi, beton tahan sulfat, bendungan, dan struktur massa |

| Tipe <i>Fly Ash</i> | Kandungan Utama | Karakteristik | Penggunaan |
|---------------------|-----------------------------|--|---|
| Kelas C | Kalsium oksida (CaO) tinggi | Bersifat pozzolanik dan sementitious (dapat mengeras sendiri dengan air) | Beton pracetak, perkerasan jalan, dan beton dengan kekuatan awal tinggi |

Sumber: SNI 2460:2014



Gambar 2.6. *Fly Ash*

2.7 *Crystalline Powder Waterproofing*

Crystalline powder waterproofing merupakan bahan tambah berbentuk serbuk yang dicampurkan ke dalam beton untuk membantu penetrasi air. Bahan ini bekerja dengan memanfaatkan reaksi terhadap air dan hasil hidrasi semen, kemudian membentuk kristal tidak larut yang mengisi pori-pori, kapiler, dan retak mikro sehingga jalur masuk air menjadi terhambat dan ketahanan beton meningkat. *Crystalline powder waterproofing* termasuk dalam kelompok produk yang umumnya terdiri dari semen *portland*, pasir kuarsa khusus, serta bahan kimia aktif yang bereaksi di dalam beton untuk meningkatkan kerapatan hasil hidrasi C-S-H dan membantu menutup rongga-rongga di dalam beton (Gojević dkk., 2021).

Berdasarkan penelitian (Mircea dkk., 2021), *Crystalline powder waterproofing* dalam beton memiliki sifat utama berupa kemampuan meningkatkan efek *self-sealing* pada umur awal, yaitu dengan membentuk kristal di dalam pori-pori dan retak mikro saat beton bersentuhan dengan air. Kristal yang terbentuk berfungsi untuk mengisi serta menutup saluran kapiler sehingga menurunkan

permeabilitas dan membuat struktur mortar menjadi lebih rapat. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penggunaan *crystalline admixture* dapat meningkatkan kemampuan penutupan retak mikro pada kondisi siklus basah dan kering, sehingga beton lebih tahan terhadap masuknya air dan memiliki durabilitas yang lebih baik, terutama pada lingkungan yang lembab dan agresif.

Crystalline powder waterproofing terbukti dapat meningkatkan durabilitas beton, terutama dalam mengurangi penetrasi air dan meningkatkan ketahanan terhadap lingkungan agresif. Namun, pengaruhnya terhadap kuat tekan relatif kecil dan sangat dipengaruhi oleh dosis yang digunakan. Oleh karena itu, penggunaannya perlu dikontrol agar tidak menurunkan sifat kerja (*workability*) beton serta tetap memberikan kinerja yang optimal (Azarsa dkk., 2021b).



Gambar 2.7. *Crystalline Powder Waterproofing*

Berdasarkan lembar data teknis produk *crystalline powder waterproofing* PT Kanaka Chemical, dosis penggunaan maksimum yang direkomendasikan adalah 4% dari berat semen. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan variasi penambahan sebesar 0%, 2%, 3% dan 4% dari berat semen untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap karakteristik beton (PT Kanaka Chemical Indonesia, 2026).

2.8 Air

Air yang digunakan dalam campuran beton berperan sebagai media untuk reaksi hidrasi semen, yang berfungsi sebagai pengikat agar butir-butir agregat dapat terhubung dengan baik, sehingga mempermudah proses pengerjaan dan pematangan. Secara teoritis, jumlah air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi semen berkisar 25% dari berat semen. Namun, dalam praktik pembuatan beton, nilai faktor air-semen umumnya tidak kurang dari 0,35. Mengacu pada Departemen Pekerjaan

Umum (1982), air yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi kriteria tertentu agar kualitas beton yang dihasilkan terjamin.

1. Air pencampur beton harus bersih dan bebas dari minyak, lumpur, maupun benda terapung, dengan kandungan lumpur maksimum 2 gram/liter.
2. Jumlah zat tersuspensi dalam air dibatasi hingga 2 gram/liter.
3. Kandungan garam yang dapat merusak beton tidak boleh melebihi 15 gram/liter.
4. Kadar sulfat dalam air dibatasi maksimum 1 gram/liter.
5. Kandungan klorida (Cl^-) tidak boleh lebih dari 0,5 gram/liter.



Gambar 2.8. Air

2.9 *Slump Test*

Slump test adalah metode pengujian pada campuran beton segar yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat *workability* campuran beton. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur besar penurunan beton setelah cetakan kerucut abrams dilepaskan dengan cara diangkat secara tegak lurus. Nilai *slump* menunjukkan *workability* beton dalam proses pengadukan, pengangkutan, pengecoran, dan pemadatan. Semakin besar nilai *slump*, sehingga campuran beton menjadi lebih mudah dikerjakan. Namun, apabila nilai *slump* yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terjadinya segregasi dan *bleeding* pada campuran beton segar (Badan Standardisasi Nasional, 2008).

Menurut SNI 1972:2008, pengujian *slump* menggunakan cetakan kerucut terpancung dengan dimensi tinggi 300 mm, diameter bawah 200 mm, dan diameter atas 100 mm. Campuran beton segar diisi ke dalam cetakan sebanyak tiga lapis, dengan masing-masing lapisan dipadatkan melalui 25 tusukan menggunakan

batang baja. Selanjutnya, cetakan diangkat secara vertikal dengan hati-hati dan besarnya penurunan permukaan beton diukur untuk menentukan nilai *slump*.

Berdasarkan (Badan Standardisasi Nasional, 2012), nilai *slump* untuk elemen struktur balok dan dinding bertulang berada pada kisaran 20–100 mm. Namun, nilai *slump* yang direncanakan dalam penelitian ini adalah 120–180 mm untuk meningkatkan *workability* beton sehingga proses pengecoran dan pemadatan pada struktur tandon air tanam dapat dilakukan dengan lebih mudah dan merata.



Gambar 2.9. *Slump Test*

2.10 Perawatan Beton

Perawatan beton (*curing*) adalah proses menjaga kelembaban dan suhu beton setelah pengecoran agar proses hidrasi semen dapat berjalan dengan baik. Berdasarkan Badan Standardisasi Nasional (2011), kondisi *curing* yang tepat diperlukan agar hasil pengujian kuat tekan beton menjadi representatif, karena pembentukan kekuatan beton sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air pada tahap awal pengerasan.

Berdasarkan SNI 2493:2011 tentang tata cara pembuatan dan perawatan benda uji di laboratorium, pemeliharaan benda uji beton dilakukan dengan cara menjaga kondisi kelembaban dan suhu agar proses hidrasi semen tetap berlangsung optimal hingga waktu pengujian. Metode *curing* yang digunakan dalam penelitian ini umumnya adalah perendaman spesimen beton di dalam air bersuhu standar laboratorium ($\pm 23 \pm 2^\circ\text{C}$) sampai waktu pengujian kuat tekan dilakukan.

Adapun perawatan beton berdasarkan SNI 2493:2011 menggunakan beberapa perlengkapan seperti air bersih sebagai media perendaman, bak *curing*, termometer untuk mengontrol suhu air, serta benda uji beton berupa silinder.

Perawatan dilakukan dengan cara benda uji segera direndam setelah dilepaskan dari cetakan dan dijaga tetap terendam atau lembab sampai waktu pengujian. Suhu air perendaman harus dipertahankan stabil pada suhu ruang sekitar $23 \pm 2^\circ\text{C}$, serta benda uji tidak boleh dibiarkan mengering selama proses *curing*. Selain itu, kondisi perawatan harus dibuat sama untuk seluruh benda uji agar hasil pengujian yang diperoleh dapat mewakili kondisi sebenarnya.



Gambar 2.10. Perawatan Beton

2.11 Kuat Tekan

Pada struktur beton, kemampuan menahan gaya tekan menjadi karakteristik yang sangat penting. Karena itu, kuat tekan digunakan sebagai parameter utama dalam penentuan mutu beton dan sebagai acuan untuk memperkirakan sifat mekanik lainnya. Pengujian kuat tekan pada penelitian ini dilaksanakan berdasarkan SNI 1974:2011.

Terdapat sejumlah faktor yang berperan dalam menentukan kuat tekan beton, di antaranya komposisi campuran dan proses *curing*. Berdasarkan penelitian Mulyono (2004), perubahan variasi campuran, *water cement ratio* dan perbandingan agregat, sangat mempengaruhi tingkat kepadatan dan porositas beton yang kemudian menentukan besar kecilnya kuat tekan. Semakin rendah *water-cement ratio*, beton akan cenderung lebih padat sehingga kuat tekannya lebih tinggi. Selain itu, proses *curing* juga berperan penting karena membantu berlangsungnya reaksi hidrasi semen secara optimal. Perawatan yang baik akan membantu perkembangan kekuatan beton secara optimal, sedangkan *curing* yang kurang baik dapat menyebabkan penurunan kuat tekan akibat hidrasi yang tidak sempurna. Nilai kuat tekan beton diperoleh berdasarkan persamaan berikut:

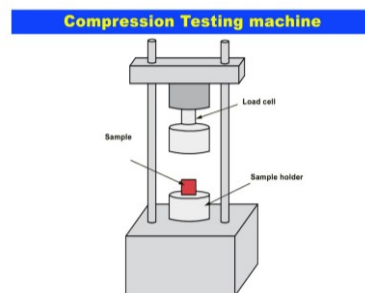
$$f'c = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

$F'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban Tekan (N)

A = Luas Penampang Benda Uji (mm')



Gambar 2.11. Skema Uji Kuat Tekan Beton

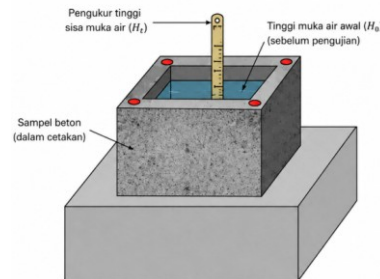
Sumber : *google.com*, (2026)

2.12 Kekedapan Air (Komisioning)

Uji kekedapan air beton merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan penetrasi dan kebocoran air melalui pori-pori, kapiler, maupun retak mikro pada struktur beton. Pengujian ini penting dilakukan karena prototipe tandon air cor tanam akan berfungsi sebagai struktur penampung air yang harus mampu meminimalkan terjadinya rembesan dan kehilangan air selama masa layan. Selain itu, pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan *crystalline powder waterproofing* terhadap kemampuan beton dalam meningkatkan kerapatan mikrostruktur dan mengurangi jalur masuk air ke dalam beton (*ACI Committee 350, 2010; Azarsa dkk., 2021b*).

. Pengujian ini diadaptasi dari prinsip *tightness testing* pada struktur penampung air di lapangan yang dijelaskan dalam ACI 350.1-10. Pada pengujian lapangan, struktur beton yang telah selesai dibangun, seperti tangki, reservoir, atau bak penampung, diisi air hingga mencapai elevasi tertentu dan didiamkan selama periode pengamatan untuk mengetahui ada atau tidaknya kebocoran dan rembesan. Dalam penelitian ini, prinsip tersebut diadopsi dengan menggunakan prototipe tandon air cor tanam sebagai benda uji skala laboratorium. Pengamatan dilakukan dengan mengukur selisih tinggi muka air sebelum dan sesudah periode pengujian,

kemudian dihitung sebagai persentase kehilangan air untuk merepresentasikan kemampuan beton dalam mempertahankan kekedapannya (ACI Committee 350, 2010; Azarsa dkk., 2021b)



Gambar 2.12. Skema Pengujian Komisioning

Berbeda dengan pengujian di lapangan yang dilakukan pada struktur penampung air berukuran sebenarnya (*full-scale structure*), pengujian pada penelitian ini dimodifikasi ke dalam skala laboratorium menggunakan prototipe tandon air cor tanam berukuran $20 \times 20 \times 20$ cm dengan parameter berupa persentase kehilangan air berdasarkan selisih tinggi muka air awal dan akhir. Modifikasi ini dilakukan agar pengujian dapat dilaksanakan secara terkontrol dan tetap merepresentasikan kondisi operasional tandon air di lapangan (ACI Committee 350, 2010). Kriteria penerimaan benda uji ditetapkan berdasarkan kualitas elemen pracetak dan kesesuaian dimensi prototipe. Benda uji dinyatakan layak apabila tidak mengalami keretakan, kerusakan, maupun cacat produksi yang dapat memengaruhi hasil pengujian (*Precast/Prestressed Concrete Institute, 2021*). Selain itu, dimensi prototipe $20 \times 20 \times 20$ cm ditetapkan melalui pendekatan penskalaan (*scaling*) dengan mengacu pada tandon air tanam pracetak komersial berkapasitas 600 - 1000 L yang umumnya memiliki dimensi sekitar 0,9 – 1,1 m, sehingga tetap mampu merepresentasikan fungsi tandon air sebagai struktur penampung air pada skala laboratorium.

2.13 Penyerapan Air Beton

Penyerapan air beton merupakan kemampuan beton menyerap air melalui pori-pori kapiler yang mencerminkan tingkat porositas dan kerapatan beton. Nilai penyerapan air yang rendah menunjukkan beton lebih padat dan lebih tahan

terhadap penetrasi air. Penyerapan air dipengaruhi oleh faktor air semen, porositas, dan penggunaan bahan tambah yang dapat memperbaiki mikrostruktur beton (Ghewa dkk., 2020).



Gambar 2.13. Penyerapan Air Beton

Metode pengujian yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 03-6433:2000. Pengujian dilakukan dengan perendaman selama 24 jam. Setelah pengujian selesai, benda uji ditimbang sebagai berat basah yang nantinya akan dimasukkan sesuai dengan persamaan penyerapan air.

2.14 Kajian Pustaka

Beberapa penelitian terdahulu yang relevan dikaji untuk mengidentifikasi perkembangan penelitian serta *research gap* yang mendasari pelaksanaan penelitian ini. Ringkasan penelitian terdahulu tersebut disajikan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Rekapitulasi Kajian Pustaka Penelitian

| No | Author | Judul Penelitian | Variasi | Parameter Uji | Hasil Penelitian |
|----|--------------------------|--|---|----------------------------------|--|
| 1 | (Shelote dkk., 2023) | <i>Permeability Study of Water-Proofing Admixture and Fly Ash Concrete</i> | <i>Fly ash</i> 0%, 15%, 25%, dan 35%, <i>Waterproofing admixture</i> 0%, 0,8%, dan 1,2%. | Kuat tekan dan permeabilitas air | Penggunaan <i>fly ash</i> 15–35% dan <i>waterproofing admixture</i> 0,8–1,2% mampu mempertahankan mutu beton rencana sekitar 35 MPa serta menurunkan permeabilitas beton akibat meningkatnya kepadatan struktur beton. |
| 2 | (Kusharto mo dkk., 2024) | Dampak Penambahan <i>Fly Ash</i> Pada Campuran Beton terhadap Kekuatan dan Durabilitas Beton | <i>Fly ash</i> 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% | Kuat tekan dan durabilitas | Penggunaan <i>fly ash</i> 10-20% mampu meningkatkan kuat tekan pada 20% sebesar 46,03 MPa meningkat 7,87% dari beton normal pada umur 28 hari sedangkan penggunaan di atas 20% mulai menunjukkan kecenderungan penurunan kuat tekan beton. |
| 3 | (Purwono dkk., 2020) | Analisa Pengaruh Penambahan dan Substitusi Agregat <i>Fly Ash</i> | <i>Fly ash</i> 0%, 10%, 20%, dan 30% | Kuat tekan | Penggunaan <i>fly ash</i> mampu meningkatkan kuat tekan beton dengan kuat tekan optimum pada kadar 20% akibat meningkatnya kepadatan struktur beton. |

| No | Author | Judul Penelitian | Variasi | Parameter Uji | Hasil Penelitian |
|----|------------------------|--|---|----------------------------------|--|
| | | terhadap Kuat Tekan Beton Non-Pasir | | | |
| 4 | (Pazderka, 2017) | <i>The Crystalline Admixture Effect on Concrete and Cement Mortar Compressive Strength</i> | <i>Crystalline admixture 2%</i> | Kuat tekan dan permeabilitas air | <i>Crystalline admixture</i> mampu menurunkan permeabilitas beton melalui pembentukan kristal aktif pada pori beton, namun peningkatan kuat tekan tidak signifikan. |
| 5 | (Agustiana dkk., 2022) | Pengaruh <i>Waterproofing Integral Crystalline</i> terhadap Permeabilitas Beton | <i>Crystalline admixture 0,8%, 0,9%, dan 1%</i> | Kuat tekan dan permeabilitas air | Penambahan <i>crystalline admixture</i> mempengaruhi kuat tekan beton. Variasi optimum diperoleh pada kadar 1% dengan kuat tekan sebesar 16,61 MPa, sedangkan pada kadar 0,8% dan 0,9% mengalami penurunan dibanding beton normal. |
| 6 | (Suwondo dkk., 2023) | <i>Enhancing Concrete Durability with Crystalline Admixtures: An Experimental Study</i> | <i>Crystalline admixture 0,6% dan 1,2%</i> | Kuat tekan dan permeabilitas air | Penambahan <i>crystalline admixture 0,6–1,2%</i> meningkatkan kuat tekan hingga 15% dan menurunkan permeabilitas beton hingga 52% dibandingkan beton normal. |

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, penggunaan *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen diketahui mampu meningkatkan kepadatan mikrostruktur beton melalui reaksi pozzolanik, sedangkan penambahan *crystalline powder waterproofing* efektif dalam meningkatkan ketahanan beton terhadap penetrasi air melalui pembentukan kristal yang menutup pori-pori kapiler beton. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada penggunaan kedua material tersebut secara terpisah, sehingga pengaruh kombinasi *fly ash* dan *crystalline powder waterproofing* terhadap karakteristik beton integral belum diketahui secara menyeluruh. Selain itu, penelitian mengenai penerapan kombinasi kedua material tersebut pada prototipe tandon air cor tanam masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh kombinasi substitusi *fly ash* dan penambahan *crystalline powder waterproofing* pada beton integral f'c 25 MPa terhadap kuat tekan, kekedapan air, penyerapan air, dan analisis biaya beton integral (Shelote dkk., 2023; Pezderka, 2017)