

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton adalah material komposit yang terdiri dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, dan air. Proses hidrasi antara semen dan air menghasilkan kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang berfungsi sebagai pengikat butiran agregat, sehingga beton memiliki sifat kuat tekan tinggi. Namun, kelemahan utama beton adalah rendahnya kekuatan tarik, sehingga dalam banyak aplikasi digunakan tulangan baja untuk meningkatkan kemampuan menahan gaya tarik (Arizki et al., 2015).

Menurut Ginting, 2015, kualitas beton sangat dipengaruhi oleh faktor air-semen (w/c ratio), jenis serta gradasi agregat, dan karakteristik semen yang digunakan. Pemilihan bahan yang tepat serta proporsi campuran yang sesuai dapat meningkatkan kekuatan maupun durabilitas beton.

2.2 Beton Hybrid

Beton hybrid adalah beton yang dibuat dengan menggabungkan dua atau lebih material atau bahan tambahan berbeda dalam satu campuran beton untuk memanfaatkan sifat unggul masing-masing material sehingga mutu beton yang dihasilkan lebih baik, misalnya dalam hal kekuatan, durabilitas, atau efisiensi material. Pendekatan ini dapat mencakup kombinasi bahan semen Portland dengan berbagai *supplementary cementitious materials* (SCM) seperti fly ash, slag, silica fume, serat, atau bahan limbah lainnya untuk mencapai karakteristik yang lebih tinggi dibanding beton biasa (Moolchandani et al., 2025).

Dalam penelitian ini beton hybrid diperoleh melalui substitusi sebagian semen dengan *fly ash* dan *silica fume* serta penambahan *superplasticizer*, dimana material pozzolan berperan meningkatkan kepadatan mikrostruktur, sedangkan *superplasticizer* meningkatkan kelecakan tanpa menambah rasio air-semen.

2.3 Material Penyusun Beton

2.3.1 Semen

Semen portland adalah bahan pengikat utama pada beton. Reaksi hidrasi semen dengan air menghasilkan kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang berfungsi

sebagai pengikat agregat. Kualitas semen sangat berpengaruh terhadap kuat tekan dan durabilitas beton (Sariman et al., 2025).

2.3.2 Agregat Halus

Agregat halus berupa pasir alam atau hasil pemecahan batu yang lolos saringan 4,75 mm. Agregat halus berfungsi mengisi rongga antar agregat kasar, memperbaiki workability, dan mengurangi porositas beton. Mutu agregat halus dipengaruhi oleh gradasi, kadar lumpur, bentuk butir, serta kadar organik yang terkandung di dalamnya (Wang et al., 2024).

2.3.3 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil atau batu pecah dengan ukuran butir lebih dari 4,75 mm. Perannya sangat penting karena menempati sekitar 40–50% volume beton dan menjadi tulang punggung kekuatan beton. Sifat fisik agregat kasar seperti ukuran maksimum, bentuk butiran, dan kekerasan sangat berpengaruh terhadap kuat tekan serta durabilitas beton (Gripshover & Mazzotti, n.d.).

2.3.4 Air

Air dibutuhkan untuk proses hidrasi semen dan memengaruhi workability beton. Rasio air-semen (w/c ratio) merupakan faktor penentu utama kekuatan beton. Air yang terlalu banyak menyebabkan porositas tinggi, sedangkan terlalu sedikit dapat menyulitkan pengerjaan beton (Setia Romadhon, 2023).

2.3.5 Material Tambahan

1. fly ash

Fly ash merupakan limbah pembakaran batu bara yang dapat digunakan sebagai substitusi sebagian semen. Penggunaannya dapat meningkatkan workability, menurunkan panas hidrasi, serta meningkatkan durabilitas beton (Pala'langan et al., 2025).

2. micro silica (Silica fume)

Silica fume adalah hasil samping industri silikon yang sangat halus dan berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tekan beton. Selain itu, Silica fume memperkecil permeabilitas beton (Maulana, 2022).

3. Superplasticizer

Superplasticizer merupakan bahan kimia tambahan yang berfungsi meningkatkan workability tanpa menambah air. Penggunaan Superplasticizer juga memungkinkan tercapainya beton dengan kekuatan tinggi (high performance concrete) (Ramadhan, 2022).

2.4 Pengujian Agregat

Agregat merupakan komponen terbesar dalam campuran beton ($\pm 70-75\%$ volume). Sifat fisik dan mekanik agregat sangat mempengaruhi workability, kekuatan tekan, durabilitas, serta keawetan beton (Mehta & Monteiro, 2022). Oleh karena itu, sebelum digunakan dalam campuran beton, agregat harus melalui serangkaian pengujian sesuai standar SNI.

2.4.1 Pengujian Agregat Halus

Agregat halus adalah material lolos ayakan 4,75 mm dan tertahan pada ayakan 0,075 mm. Pengujian yang dilakukan adalah:

1. Uji kandungan lumpur

Agregat halus dapat dikatakan bersih dan layak pakai jika tidak mengandung lanau lebih dari 5%. Uji kandungan lanau adalah cara cepat untuk menentukan kandungan lempung dalam pasir. Tujuan metode ini adalah untuk menyeragamkan cara pengujian pasir atau agregat halus yang plastis dengan cara setara pasir. (Badan Standardisasi Nasional, 1997).

2. Pengujian kandungan *organic*

Tujuan pengujian kandungan organik pasir adalah untuk mengetahui kadar kandungan organik pada agregat halus. Perubahan warna yang diperbolehkan menurut standart warna gardner, lalu pasirnya banyak mengandung bahan organik. Standart ini juga untuk memberikan peringatan bahwa mungkin ada sejumlah kotoran organik yang merugikan. Bila sampel yang menggunakan pengujian ini menghasilkan warna yang lebih gelap dari warna standar. (Badan Standardisasi Nasional, 2014)

3. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air

Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus ini dimaksudkan sebagai acuan dan Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam bagai para pelaksana di laboratorium dalam melakukan pengujian berat jenis dan dan penyerapan

penyerapan air pegangan dalam bagai para pelaksana di laboratorium dalam melakukan pengujian berat jenis air agregat agregat halus. halus. Standar ini dapat menyangkut penggunaan bahan, pelaksanaan dan peralatan yang Standar ini dapat menyangkut penggunaan bahan, pelaksanaan dan peralatan yang berbahaya. Standar ini tidak memasukkan masalah keselamatan yang berkaitan dengan berbahaya. Standar ini tidak memasukkan masalah keselamatan yang berkaitan dengan penggunaannya. Pengguna standar ini bertanggung jawab untuk menyediakan hal-hal yang penggunaannya. Pengguna standar ini bertanggung jawab untuk menyediakan hal-hal yang berkaitan dengan kesehatan dan keselamatan serta peraturan dan batasan-batasan dalam berkaitan dengan kesehatan dan keselamatan serta peraturan dan batasan-batasan dalam menggunakan standar ini.(SNI 03-1970, 2008).

4. Analisis saringan agregat halus

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan dengan menggunakan saringan. Tujuan pengujian ini ialah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus, Analisis saringan agregat ialah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir.(SNI 03-1968, 1990).

5. Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara

Dalam Agregat ini mencakup:

- a. Perhitungan perhitungan berat berat isi isi dalam dalam kondisi dalam agregat.
- b. Ketentuan-ketentuan peralatan, contoh uji, perhitungan, cara uji dan laporan ketentuan-ketentuan peralatan, contoh uji, perhitungan, cara uji dan laporan hasil uji.
- c. Berat isi agregat adalah berat agregat persatuan isi
- d. Berat adalah gaya gravitasi yang mendesak agregat
- e. Agregat adalah material granular misalnya pasir, batu pecah dan kerak adalah material granular misalnya pasir, batu pecah dan kerak tunggku besi, yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat tunggku besi, yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk

suatu beton semen hidrolik atau untuk membentuk suatu beton semen hidrolik atau adukan.

6. Agregat halus adalah pasir alam sebagai desintegrasi secara alami dari batu adalah pasir alam sebagai desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industry pemecah batu dan mempunyai atau pasir yang dihasilkan oleh *industry* pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5mm.
7. Rongga udar dalam satuan volume agregat adalah ruang diantara butir butir agregat yang tidak diisi oleh partikel yang padat(SNI-03-4804-1998, 1998).

2.4.2 Pengujian Agregat Kasar

Adapun pengujian bahan yang akan dilakukan terhadap agregat kasar adalah sebagai berikut:

1. Pengujian kadar lumpur agregat kasar

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan jumlah kadar lumpur yang lolos dari saringan nomor 200 (0,075 mm) yang terdapat dalam agregat kasar yang telah dicuci bersih(Agustiany et al., 1998).

2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Cara uji penyerapan air agregat kasar ini dimaksudkan untuk memberi tuntunan dan arahan bagi para pelaksana di laboratorium dalam melakukan pengujian air agregat kasar. Cara uji ini memuat ruang lingkup, peralatan, pengambilan contoh dan persiapan contoh uji, langkah kerja, perhitungan, laporan, ketelitian dan penyimpangan (Nasional, 2008).

3. Pengujian Berat isi dan rongga udara

Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat ini mencakup:

- a. perhitungan perhitungan berat berat isi isi dalam dalam kondisi dalam agregat;
- b. kondisi padat padat atau atau gembur gembur dan dan rongga rongga udara udara
- c. ketentuan-ketentuan peralatan, contoh uji, perhitungan, cara uji dan laporan ketentuan-ketentuan peralatan, contoh uji, perhitungan, cara uji dan laporan hasil uji(SNI-03-4804-1998, 1998).

4. Pengujian analisis saringan agregat kasar

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan. Tujuan pengujian ini ialah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus dan agregat kasar (SNI 03-1968, 1990).

5. Pengujian keausan dengan mesin abrasi *Los Angeles*

Cara uji ini sebagai pegangan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin abrasi los angeles. Tujuannya untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus terhadap berat semula dalam persen (SNI 2417-2008, 2008).

2.5 Mix Design

Mix design beton adalah proses memilih bahan-bahan beton yang sesuai dan menentukan proporsi relatifnya dengan tujuan menghasilkan beton dengan kekuatan, durabilitas, dan workability tertentu. Dengan kata lain, *mix design* dirancang untuk mencapai mutu beton yang ditetapkan berdasarkan bahan baku yang tersedia dan kebutuhan struktur (Santhosh & Shivananda, 2017). Dalam penelitian ini, metode perencanaan campuran beton mengacu pada SNI 7656:2012.

2.5.1 Prinsip Mix Design

Tujuan dari perencanaan campuran beton adalah:

1. Menghasilkan beton dengan kuat tekan sesuai target.
2. Memastikan workability yang memadai sesuai metode pelaksanaan.
3. Menjaga daya tahan (durabilitas) beton terhadap lingkungan.
4. Menggunakan bahan seefisien mungkin tanpa mengurangi mutu.

2.5.2 Tahapan Mix Design (SNI 7656:2012)

Langkah-langkah perencanaan campuran beton adalah:

1. Menentukan Mutu Beton (f'_c)
Menetapkan kuat tekan karakteristik.
2. Menentukan Faktor Keamanan (Standard Deviation & Margin)
Menetapkan standard deviation berdasarkan data uji sebelumnya atau nilai tabel SNI.
3. Menentukan Nilai Slump

Slump disesuaikan dengan metode pengecoran

4. Menentukan Faktor Air-Semen (w/c ratio)

Berdasarkan kuat tekan target dan durabilitas beton.

5. Menentukan Kebutuhan Air

Mengacu pada tabel kebutuhan air SNI untuk ukuran agregat maksimum tertentu.

6. Menghitung Kebutuhan Semen

Berat semen dihitung dari rasio air-semen (w/c).

7. Menghitung Proporsi Agregat Halus dan Kasar

Mengacu pada kurva gradasi agregat dan ketentuan SNI.

8. Menghitung Kebutuhan Bahan Tambah

Fly ash dan *silica fume* dihitung sebagai substitusi sebagian semen.

9. *Superplasticizer* ditentukan sebagai persentase dari berat semen.

Menghitung Total Campuran per m³ Beton

Hasil akhir berupa berat semen, *fly ash*, *silica fume*, air, agregat halus, agregat kasar, dan *superplasticizer*.

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu menyajikan tinjauan singkat terhadap penelitian-penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik yang sedang dikaji. Tujuannya adalah untuk memberikan Gambaran umum mengenai penelitian yang sudah dilakukan dan mengidentifikasi celah penelitian yang akan diisi oleh penelitian ini.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Variasi Material yang Digunakan	Hasil Utama Penelitian
1	Fernando et al. (2024)	<i>Experimental Study on High Performance Concrete with Fly ash and Silica fume</i>	<i>Fly ash</i> 10–30%, <i>Silica fume</i> 5–10%	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan <i>fly ash</i> dan <i>Silica fume</i> sebagai substitusi sebagian semen mampu meningkatkan kuat tekan beton secara signifikan. Beton kontrol memiliki kuat tekan sekitar 42 MPa, sedangkan kombinasi 20% <i>fly ash</i>

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Variasi Material yang Digunakan	Hasil Utama Penelitian
				dan 8% <i>Silica fume</i> menghasilkan kuat tekan umur 28 hari sebesar 67,93 MPa, atau meningkat sekitar 60% dibandingkan beton tanpa substitusi.
2	Putra et al. (2022)	<i>Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi dengan Fly ash dan Silica fume sebagai Bahan Pengisi</i>	<i>Fly ash 10–30%, Silica fume 5–15%</i>	Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi <i>fly ash</i> dan <i>Silica fume</i> berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Beton kontrol memiliki kuat tekan rata-rata sekitar 45 MPa, sedangkan kombinasi 20% <i>fly ash</i> dan 10% <i>Silica fume</i> menghasilkan kuat tekan umur 28 hari sebesar ± 58 MPa, yang menunjukkan peningkatan kuat tekan sekitar 28–30% dibandingkan beton normal.
3	Maulana (2022)	<i>Comparison of Concrete Strength with Fly ash and Silica fume as Partial Cement Replacement</i>	<i>Fly ash 15–25%, Silica fume 5–10%</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar <i>fly ash</i> dan <i>Silica fume</i> hingga batas optimum dapat meningkatkan kuat tekan beton. Beton normal memiliki kuat tekan sekitar 38 MPa, sedangkan penggunaan 20% <i>fly ash</i> dan 10% <i>Silica fume</i> menghasilkan kuat tekan umur 28 hari sebesar ± 50 MPa,

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Variasi Material yang Digunakan	Hasil Utama Penelitian
				atau meningkat sekitar 30–32%. Pada variasi <i>fly ash</i> di atas 20%, kuat tekan beton mengalami penurunan.
4	Dharsono(2024)	<i>Pengaruh Superplasticizer terhadap Beton dengan Substitusi Fly ash dan Mikrosilika</i>	<i>Fly ash</i> 10–20%, mikrosilika 10%, <i>superplasticizer</i> 1–2%	Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton tanpa <i>superplasticizer</i> memiliki kuat tekan umur 28 hari sebesar ± 34 MPa. Dengan penambahan <i>superplasticizer</i> sebesar 1%, kuat tekan meningkat menjadi ± 39 MPa, atau mengalami peningkatan sekitar 14,6%. Peningkatan ini disebabkan oleh meningkatnya kelecakan dan kepadatan beton tanpa penambahan air pencampur.
5	Mubarak et al. (2023)	<i>Pemanfaatan Fly ash sebagai Substitusi Sebagian Semen pada Beton Struktural</i>	<i>Fly ash</i> 10–30%	Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton kontrol memiliki kuat tekan umur 28 hari sebesar ± 30 MPa. Substitusi <i>fly ash</i> sebesar 20% menghasilkan kuat tekan sebesar ± 35 MPa, atau meningkat sekitar 16–18% pada umur 28 hari. Pada umur awal terjadi penurunan kuat tekan, namun pada umur lanjut beton dengan <i>fly ash</i> menunjukkan

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Variasi Material yang Digunakan	Hasil Utama Penelitian
				performa yang lebih baik dibandingkan beton normal.
6	Maizuar et al. (2023)	<i>Pengaruh High Volume Fly ash dan Silica fume terhadap Kuat Tekan Mortar ECC</i>	<i>Fly ash 50–80%, Silica fume 10–15%, superplasticizer 2,4%</i>	Penelitian ini menunjukkan bahwa mortar kontrol memiliki kuat tekan sebesar ± 43 MPa. Kombinasi 60% <i>fly ash</i> dan 15% <i>Silica fume</i> menghasilkan kuat tekan optimum sebesar 62,1 MPa, atau mengalami peningkatan sekitar 43,3% dibandingkan mortar tanpa substitusi. Pada variasi <i>fly ash</i> di atas 60%, kuat tekan mortar mengalami penurunan yang signifikan.
7	Bernaditha & Dika (2020)	<i>Pengaruh Fly ash terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton Berpori</i>	<i>Fly ash 0–20%</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton kontrol memiliki kuat tekan sebesar $\pm 4,10$ MPa. Substitusi <i>fly ash</i> sebesar 10% menghasilkan kuat tekan sebesar 5,47 MPa, atau meningkat sekitar 33,4% dibandingkan beton tanpa <i>fly ash</i> . Pada kadar <i>fly ash</i> di atas 10%, kuat tekan beton berpori cenderung menurun akibat meningkatnya porositas.

Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Variasi Material yang Digunakan	Hasil Utama Penelitian
8	Prakoso (2018)	<i>Design of High Early Performance Concrete with Fly ash and Silica fume</i>	<i>Fly ash</i> dan <i>Silica fume</i> sebagai bahan tambahan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton kontrol memiliki kuat tekan awal umur 7 hari sebesar ± 28 MPa. Dengan penambahan <i>fly ash</i> dan <i>Silica fume</i> , kuat tekan meningkat menjadi ± 36 MPa pada umur yang sama, atau mengalami peningkatan sekitar 28–30%, sehingga beton mampu mencapai kekuatan awal yang lebih tinggi.
9	Keintjem et al. (2024)	<i>Carbon Emission Reduction through Partial Cement Replacement in Concrete</i>	<i>Fly ash</i> 10–25%	Penelitian ini menunjukkan bahwa beton normal memiliki kuat tekan umur 28 hari sebesar ± 32 MPa. Substitusi <i>fly ash</i> sebesar 20% menghasilkan kuat tekan sebesar ± 37 MPa, atau meningkat sekitar 15–16%, sekaligus menurunkan emisi karbon beton secara signifikan akibat pengurangan penggunaan semen Portland.
10	Agustiningtyas et al. (2025)	<i>Performance of Fly ash-Based Concrete for Sustainable Construction</i>	<i>Fly ash</i> 0–30%	Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton normal memiliki kuat tekan umur 28 hari sebesar ± 31 MPa. Substitusi <i>fly ash</i> sebesar 15–20% menghasilkan kuat tekan sebesar ± 36 –38 MPa, atau mengalami peningkatan sekitar 16–23% dibandingkan

Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Variasi Material yang Digunakan	Hasil Utama Penelitian
				beton kontrol. Selain peningkatan kuat tekan, penggunaan <i>fly ash</i> juga menurunkan konsumsi semen dan meningkatkan aspek keberlanjutan beton.

Sumber: Data Penulis, 2025.