

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

“Beton merupakan campuran dari elemen yang berasal dari campuran pasir (agregat halus), kerikil (agregat kasar), semen, dan air, dengan tambahan bahan atau tanpa tambahan bahan yang nanti akan menjadi pasta. Pasta tersebut kemudian akan mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel yang nanti akan di cirkan dan menghasilkan suatu beton yang kuat.”(Arifin, 2020)

Mulyono (2006) mengungkapkan bahwa beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah. Sedang Sagel dkk. (1994) menguraikan bahwa beton adalah suatu komposit dari bahan batuan yang direkatkan oleh bahan ikat. Sifat beton dipengaruhi oleh bahan pembentuknya serta cara pengerjaannya. Semen mempengaruhi kecepatan pengerasan beton. Selanjutnya kadar lumpur, kebersihan, dan gradasi agregat mempengaruhi kekuatan pengerjaan yang mencakup cara penuangan, pemadatan, dan perawatan, yang pada akhirnya mempengaruhi kekuatan beton.

Sifat-sifat beton pada umumnya dipengaruhi oleh kualitas bahan, cara pengerjaan, dan cara perawatannya. Karakteristik semen mempengaruhi kualitas beton dan kecepatan pengerasannya. Gradasi agregat halus mempengaruhi pengerjaannya, sedang gradasi agregat kasar mempengaruhi kekuatan beton. Kualitas dan kuantitas air mempengaruhi pengerasan dan kekuatan (Murdock dan Brook, 2003).

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI), beton dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria, seperti kekuatan, berat jenis, dan fungsinya. Berikut adalah beberapa jenis beton yang sering disebut dalam SNI:

1. Berdasarkan Kekuatan Tekan

SNI 2847:2019 tentang *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung* mengelompokkan beton berdasarkan kekuatan tekan:

a. Beton Normal

Kuat tekan biasanya berada dalam rentang 17 MPa hingga 41 MPa.

Contoh: Beton untuk bangunan umum.

b. Beton Kekuatan Tinggi

Kuat tekan di atas 41 MPa, biasanya digunakan untuk struktur dengan beban berat, seperti gedung tinggi atau jembatan.

c. Beton Mutu Rendah

Kuat tekan di bawah 17 MPa, sering digunakan untuk pekerjaan non-struktural, seperti lapisan dasar perkerasan jalan.

2. Berdasarkan Berat Jenis

Mengacu pada SNI 2847 dan referensi standar lainnya:

a. Beton Berat:

Berat jenis lebih dari 2400 kg/m³, biasanya menggunakan agregat berat seperti barit atau serpentine. Digunakan untuk pelindung radiasi.

b. Beton Normal:

Berat jenis sekitar 2200-2400 kg/m³, menggunakan agregat alam biasa.

c. Beton Ringan

Berat jenis kurang dari 2200 kg/m³, sering digunakan untuk mengurangi beban mati pada struktur. Bisa berupa:

1. Beton Ringan Struktural: Berat jenis sekitar 1400-1800 kg/m³.
2. Beton Ringan Non-struktural: Untuk insulasi atau panel dinding.

Beton yang baik memiliki beberapa karakteristik utama yang memastikan kekuatan, durabilitas, dan efisiensi dalam penggunaannya. Berikut adalah karakteristik-karakteristik tersebut:

- a. Kekuatan Tekan Tinggi: Beton harus memiliki kekuatan tekan yang tinggi untuk menahan beban dan tekanan. Kekuatan tekan yang baik biasanya di atas 20 MPa (Megapascal) untuk konstruksi bangunan standar.
- b. Durabilitas: Beton yang baik harus tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan, termasuk perubahan suhu, kelembaban, dan serangan kimia. Durabilitas memastikan beton dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama tanpa kerusakan signifikan.

- c. *Workability*: Beton harus mudah diolah dan ditempatkan di bekisting tanpa kehilangan homogenitasnya. *Workability* yang baik memungkinkan beton mengisi cetakan dengan baik dan mencapai permukaan yang halus.
- d. Resistensi Terhadap Retak: Beton harus memiliki ketahanan terhadap retak akibat beban atau perubahan suhu. Penggunaan serat atau tulangan dapat meningkatkan ketahanan ini.
- e. Kedap Air: Beton yang baik harus memiliki sifat kedap air untuk mencegah penetrasi air yang dapat menyebabkan korosi pada tulangan dan kerusakan struktural.
- f. Adhesi yang Baik: Beton harus memiliki daya rekat yang baik dengan material lain, seperti baja tulangan, untuk memastikan integritas struktural.
- g. Ketahanan Terhadap Aus: Beton harus tahan terhadap abrasi dan aus, terutama pada struktur yang terkena beban lalu lintas atau gesekan secara terus-menerus.
- h. Kecepatan Pengikatan yang Tepat: Beton harus memiliki kecepatan pengikatan yang sesuai dengan kebutuhan proyek konstruksi, tidak terlalu cepat dan tidak terlalu lambat.

2.1.1 Semen

Berdasarkan SNI 2049:2015, semen Portland didefinisikan sebagai bahan pengikat hidrolis berupa serbuk halus yang dihasilkan dari proses pembakaran campuran batu kapur dan material silikat lainnya, yang akan mengeras ketika bereaksi dengan air.

Semen didefinisikan sebagai bahan pengikat, biasanya berbasis senyawa kalsium silikat, yang bereaksi dengan air (proses hidrasi) untuk membentuk pasta keras yang mengikat agregat menjadi struktur padat (Neville, 2011).

Semen Portland adalah bahan pengikat organik yang sangat penting dipakai dalam bangunan - bangunan pada masa kini. Semen Portland adalah bahan pengikat Hidrolig (Hidrolic bending agent) artinya dapat mengeras dengan adanya air. Berikut adalah beberapa jenis portland semen yang umum ditemukan:

1. Semen Portland Tipe I (*Ordinary Portland Cement*): Digunakan untuk konstruksi umum seperti rumah, gedung bertingkat, dan infrastruktur jalan raya. Tipe ini memiliki kekuatan tekan yang baik dan cepat kering.
2. Semen Portland Tipe II (*Moderate Sulfate Resistance*): Digunakan di lingkungan yang keras seperti pinggir laut, tanah rawa, dan dermaga. Tipe ini memiliki ketahanan sulfat yang sedang.
3. Semen Portland Tipe III (*High Early Strength*): Menonjol dengan kekuatan tekan awal yang tinggi, ideal untuk konstruksi yang memerlukan kekuatan cepat seperti jembatan dan pondasi berat.
4. Semen Portland Tipe IV (*Low Heat of Hydration*): Memiliki panas hidrasi rendah, cocok untuk proyek besar seperti pembangunan dam dan lapangan udara untuk mengurangi risiko keretakan.
5. Semen Portland Tipe V (*High Sulfate Resistance*): Digunakan di lingkungan dengan kadar sulfat tinggi, seperti tanah rawa dan dermaga. Tipe ini memiliki ketahanan sulfat yang tinggi.

2.1.2 Agregat

Agregat adalah material granular yang digunakan sebagai komponen utama dalam campuran beton atau mortar, yang berfungsi untuk memberikan volume, meningkatkan kekuatan, dan mengurangi biaya pembuatan. Agregat mencakup pasir, kerikil, batu pecah, atau material lain yang berasal dari sumber alam atau hasil rekayasa.

Agregat adalah material yang sebagian besar terdiri dari butiran mineral alami atau buatan, yang digunakan bersama semen dan air untuk membentuk beton atau mortar (Neville, 2011). Agregat didefinisikan sebagai material granular, seperti pasir, kerikil, batu pecah, terak, atau material daur ulang, yang dipilih sesuai dengan kebutuhan konstruksi tertentu. ASTM (American Society for Testing and Materials).

1. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah material granular dengan ukuran butiran lebih besar dari 4,75 mm (tertahan pada saringan No. 4 ASTM atau 4,75 mm) yang digunakan

dalam campuran beton untuk memberikan kekuatan, volume, dan stabilitas. Contoh agregat kasar meliputi kerikil alami, batu pecah, atau bahan serupa lainnya.

a. Karakteristik agregat kasar

Agregat kasar untuk beton memiliki ukuran butiran bervariasi, mulai dari 4,75 mm hingga 40 mm untuk konstruksi umum, dan hingga 75 mm untuk aplikasi khusus seperti beton massa. Bentuk butiran dapat berupa bulat, bersudut, tidak beraturan, atau memipih. Agregat bulat, seperti kerikil sungai, memberikan *workability* yang baik namun memiliki ikatan yang kurang kuat dengan semen, sedangkan agregat bersudut, seperti batu pecah, memiliki ikatan yang lebih kuat tetapi *workability* yang lebih rendah. Agregat kasar juga harus memiliki kekuatan tekan yang memadai untuk mendukung kekuatan beton secara keseluruhan. Selain itu, agregat dengan porositas rendah lebih diinginkan karena mengurangi penyerapan air, menjaga rasio air-semen, dan meningkatkan kualitas beton.

b. Sifat-Sifat Penting Agregat Kasar

1. Gradasi

- Distribusi ukuran butiran memengaruhi *workability*, kekuatan, dan kepadatan beton.
- Gradasi yang baik memastikan beton padat dan minim rongga.

Gradasi agregat ialah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butiran - butiran agregat mempunyai ukuran sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi maka volume pori menjadi kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang besar, sehingga pori-pori menjadi sedikit, dengan kata lain kemampuan menjadi tinggi (Tjokrodimulyo, 2007).

Selain itu dalam ASTM C-33 ada gradasi kombinasi agregat kasar yang rentangnya lebih panjang dari gradasi bernomor dasar :

Table 2. 1 Gradasi agregat kasar (ASTM C-33)

Ukuran saringan (Ayakan)				% Lolos Saringan/Ayakan Gradasi					
mm	SNI	ASTM	Inch	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
100	100	4 in	4	100-100					
90	90	3 ½ in	3,5	90 - 100					
75	76	3 in	3		100-100				
63	63	2 ½ in	2,5	25 - 60	90 - 100	100-100			
50	50	2 in	2		35 - 70	90 - 100	100-100		
37	38	1 ½ in	1,5	0 - 15	0 - 15	35 - 70	90 - 100	100-100	
25	25	1 in	1			0 - 15	20 - 55	90 - 100	100-100
19	19	¾ in	0,75	0 - 5	0 - 5		0 - 15	20 - 55	90 - 100
12,5	12,5	½ in	0,5			0 - 5		0 - 10	20 - 55
9,5	9,6	3/8 in	0,375				0 - 5	0 - 5	0 - 15
4,75	4,8	No. 4	0,187						0 - 5
2,36	2,4	No. 8	0,0937						
1,18	1,2	No. 16	0,0469						

Sumber : ASTM C-33

2. Kekerasan dan Ketahanan:

Harus tahan terhadap abrasi, penghancuran, dan beban mekanis.

3. Berat Jenis:

Agregat normal memiliki berat jenis sekitar 2,4–2,9. Berat jenis memengaruhi densitas dan kekuatan beton.

4. Absorpsi Air:

Agregat kasar yang baik memiliki daya serap air rendah (< 3%) untuk menjaga rasio air-semen.

2. Agregat Halus

Agregat halus adalah material granular dengan ukuran butiran lebih kecil dari 4,75 mm (lolos saringan No. 4 ASTM atau 4,75 mm) dan umumnya digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran beton atau mortar. Agregat halus membantu meningkatkan *workability*, mengisi celah antar agregat kasar, dan memberikan hasil permukaan yang halus pada beton atau mortar. Contohnya adalah pasir alami atau pasir hasil pemecahan batu.

a. Karakteristik agregat halus

Agregat halus memiliki ukuran butiran berkisar antara 0,075 mm hingga 4,75 mm, di mana pasir yang terlalu halus dapat mengurangi *workability* dan kekuatan beton. Kebersihan agregat halus sangat penting, sehingga harus bebas dari lumpur, tanah liat, atau bahan organik yang dapat mengganggu reaksi kimia. Tekstur permukaannya juga memengaruhi beton, dengan tekstur halus meningkatkan kemudahan pengerjaan dan tekstur kasar memperkuat ikatan dengan pasta semen. Selain itu, gradasi butiran yang baik diperlukan untuk menghasilkan beton yang padat tanpa rongga, sementara gradasi buruk dapat menyebabkan segregasi atau bleeding. Agregat halus juga memiliki sifat menyerap air, sehingga harus diperhatikan dalam menentukan rasio air-semen agar kualitas beton tetap optimal.

b. Jenis-Jenis Agregat Halus Berdasarkan Sumber

1. Agregat Halus Alami:

Pasir alami memiliki tekstur yang lebih halus dan bulat. Contoh: Pasir sungai, pasir laut (harus bebas garam), atau pasir gunung.

2. Agregat Halus Buatan:

Biasanya memiliki bentuk yang lebih bersudut dan kasar dibanding pasir alami. Contoh: Pasir hasil pemecahan batu (pasir buatan atau *manufactured sand*).

3. Agregat Halus Daur Ulang:

Contoh: Material daur ulang dari limbah konstruksi atau limbah beton yang dihancurkan menjadi partikel halus.

c. Sifat-Sifat Penting Agregat Halus

1. Gradasi:

Harus memiliki distribusi ukuran butiran yang seragam untuk mengurangi segregasi dan bleeding pada beton. Standar gradasi dapat merujuk pada SNI 03-2834-2000 atau ASTM C33.

2. Kebersihan:

Kadar lumpur dalam agregat halus tidak boleh melebihi 3-5% (SNI 03-6820-2002). Agregat halus yang terkontaminasi lumpur atau bahan organik dapat melemahkan kekuatan beton.

3. Kekuatan:

Agregat halus harus cukup kuat untuk mendukung beban mekanis yang diterima beton.

4. Berat Jenis:

Berat jenis pasir alami biasanya berkisar antara 2,3-2,7.

5. Daya Serap Air:

Daya serap air harus rendah untuk menghindari pengaruh pada rasio air-semen dalam campuran.

2.1.3 Air

Air merupakan salah satu elemen penting dalam dunia konstruksi, terutama dalam pembuatan beton, mortar, dan plesteran. Sebagai komponen utama dalam campuran, air memainkan peran signifikan dalam reaksi kimia antara semen dan material lain, yaitu proses hidrasi. Dalam proses ini, air bereaksi dengan semen untuk membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H), yang merupakan senyawa utama pemberi kekuatan beton. Selain itu, air juga berfungsi sebagai pelumas untuk mempermudah pencampuran material, meningkatkan *workability*, serta membantu proses pengecoran hingga menghasilkan permukaan beton yang halus.

Kualitas air yang digunakan sangat berpengaruh terhadap sifat fisik dan mekanis beton yang dihasilkan. Air yang bersih dan bebas dari kontaminan, seperti bahan organik, garam, minyak, atau zat kimia berbahaya, diperlukan untuk menjaga stabilitas dan durabilitas beton. Sebagai panduan umum, air yang layak untuk diminum biasanya juga layak digunakan dalam campuran beton. Sebaliknya, air dengan kandungan klorida, sulfat, atau zat lain yang berlebih dapat menyebabkan korosi pada tulangan beton dan mengurangi umur layanan struktur.

Dalam campuran beton, rasio air-semen (water-cement ratio, w/c ratio) merupakan faktor kunci yang menentukan kualitas beton. Rasio ini harus diatur sedemikian rupa agar proses hidrasi berjalan optimal, menghasilkan beton dengan kekuatan dan durabilitas tinggi. Kelebihan air dalam campuran dapat meningkatkan porositas beton, sehingga mengurangi kekuatan tekan dan daya tahan terhadap

kondisi lingkungan agresif. Sementara itu, kekurangan air dapat menyebabkan campuran sulit diolah, menghasilkan beton dengan kualitas pengerjaan yang rendah.

Selain untuk pencampuran beton, air juga digunakan dalam proses curing untuk menjaga kelembaban beton selama masa pengerasan. Curing bertujuan untuk memastikan reaksi hidrasi berlangsung secara sempurna, sehingga kekuatan beton dapat tercapai secara maksimal. Proses ini biasanya dilakukan dengan cara membasahi permukaan beton secara periodik atau menutupi beton dengan bahan yang dapat menjaga kelembaban, seperti karung basah atau plastik. Curing yang baik sangat penting untuk menghindari retak akibat penyusutan dini dan memastikan beton memiliki durabilitas yang optimal.

Namun, penggunaan air yang tidak sesuai dapat memberikan dampak negatif pada kualitas beton. Kandungan zat kimia berlebih dalam air dapat menghambat proses hidrasi atau menyebabkan reaksi yang merusak struktur beton. Air yang tidak bersih juga dapat menurunkan kualitas ikatan antara semen dan agregat, sehingga melemahkan kekuatan beton secara keseluruhan. Oleh karena itu, pengujian kualitas air sangat diperlukan sebelum digunakan dalam campuran beton, terutama pada proyek konstruksi skala besar.

Secara keseluruhan, air merupakan bahan yang krusial dalam konstruksi, baik untuk campuran beton maupun untuk proses curing. Penggunaan air yang sesuai spesifikasi dapat menghasilkan beton dengan kekuatan dan durabilitas tinggi, sementara air yang tidak memenuhi standar berpotensi menurunkan kualitas dan umur layanan struktur. Oleh karena itu, pemilihan dan pengelolaan air yang tepat menjadi langkah penting dalam menjamin keberhasilan proyek konstruksi.

2.1.4 Bahan Tambah Additive (Admixture)

Bahan tambah additive (*admixture*) adalah bahan tambahan yang ditambahkan ke dalam campuran beton selama proses pencampuran, selain semen, air, dan agregat, untuk memodifikasi sifat-sifat beton sesuai dengan kebutuhan tertentu. Admixture digunakan untuk memperbaiki atau mengubah berbagai karakteristik beton, seperti kecepatan pengerasan, *workability*, kekuatan, ketahanan

terhadap kondisi lingkungan, dan durabilitas. Bahan ini umumnya digunakan dalam jumlah yang kecil, namun dapat memiliki dampak signifikan terhadap kualitas dan kinerja beton.

Admixture atau aditif pada campuran beton adalah bahan yang ditambahkan ke campuran beton selain air, semen, dan agregat, untuk mengubah atau meningkatkan sifat-sifat tertentu dari beton. Admixture digunakan untuk meningkatkan performa beton dan untuk mengatasi berbagai tantangan dalam proses konstruksi.

Bahan tambahan pada beton (admixture) dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan fungsinya. Berikut adalah klasifikasi umum bahan tambahan beserta fungsinya:

1. Bahan Tambahan Kimia (Chemical Admixtures)

Bahan ini ditambahkan dalam jumlah kecil untuk memodifikasi sifat beton segar atau beton yang sudah mengeras. Berikut beberapa jenis-jenis bahan tambahan kimia:

a. *Plasticizers (Water Reducers)*

Mengurangi kebutuhan air dan meningkatkan *workability*. Contohnya seperti Lignosulfonat.

b. *Superplasticizers (High-Range Water Reducers)*

Memungkinkan pengurangan air yang lebih besar untuk menghasilkan beton dengan *workability* tinggi atau kekuatan tinggi. Contohnya Polycarboxylate ether (PCE).

c. *Retarders*

Memperlambat waktu pengerasan beton, berguna dalam cuaca panas atau pengecoran besar. Contohnya gula dan asam borat.

d. *Accelerators*

Mempercepat waktu pengerasan dan penguatan awal beton. Contohnya kalsium klorida (CaCl_2).

2. Bahan Tambahan Mineral (*Mineral Admixtures*)

Ditambahkan dalam jumlah besar untuk meningkatkan sifat mekanik dan daya tahan beton. Jenis-jenis dari bahan tambahan mineral sebagai berikut :

a. *Fly Ash*

Abu sisa pembakaran batu bara yang meningkatkan *workability* dan kekuatan beton jangka panjang.

b. *Silica Fume*

Partikel halus yang meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton terhadap serangan kimia.

c. *Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBS)*

Limbah industri baja yang meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton.

d. *Pozzolan*

Bahan seperti kapur atau abu vulkanik yang bereaksi dengan kalsium hidroksida untuk membentuk senyawa semen tambahan.

e. Kapur Padam (*Hydrated Lime*)

Digunakan untuk meningkatkan *workability* dan daya tahan pada mortar dan beton tertentu.

2.2 Beton Dengan Bahan Pengganti Reduksi Semen

Joseph Aspidin adalah penemu semen pada awal abad ke-19. Penggunaan semen dalam industri konstruksi semakin meningkat seiring dengan kebutuhan bangunan modern yang banyak memanfaatkan beton sebagai material utama. Umumnya, beton diproduksi dengan komposisi sekitar 12% semen, 8% air, dan 80% agregat berdasarkan berat. Ini menunjukkan bahwa di seluruh dunia, produksi beton telah melibatkan penggunaan semen sebanyak 1,6 milyar ton, agregat (pasir dan batuan) mencapai 10 milyar ton, dan air sebanyak 1 milyar ton. Selain itu, jumlah agregat yang digunakan untuk pembuatan klinker semen mencapai 12,6 milyar ton (Mehta, 2002).

Berbagai penelitian dan pengembangan bahan telah dilakukan untuk mengurangi penggunaan semen dan sumber daya alam dalam pembuatan beton, dengan tujuan menciptakan beton yang lebih ramah lingkungan. Upaya ini

mencakup rekayasa material serta rekayasa proses produksi. Salah satu alternatif untuk memperoleh beton yang ramah lingkungan adalah dengan memanfaatkan bahan sisa dari industri sebagai pengganti sebagian atau seluruh semen. Penggunaan bahan ini semakin banyak diadopsi. Penelitian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dan perilaku beton dengan berbagai bahan tambah. Kombinasi material beton normal dapat menghasilkan sifat fisik dan mekanik yang baik, sehingga dapat diterapkan dalam desain struktur (Ohama et al., 2007).

2.3 Reduksi Air Pada Campuran Beton

Kualitas dan sifat campuran beton sangat dipengaruhi oleh reduksi air. Kekuatan tekan beton dapat ditingkatkan dengan mengurangi jumlah air yang digunakan karena rasio air-semen yang lebih rendah menghasilkan ikatan yang lebih kuat antara butiran agregat dan pasta semen. Pengurangan air juga dapat mengurangi porositas beton, meningkatkan resistensi terhadap air dan bahan kimia berbahaya. Karena terlalu sedikit air dapat membuat campuran sulit untuk dicetak dan dapat menyebabkan retakan selama proses pengeringan, penting untuk memastikan bahwa reduksi air tidak mengurangi kualitas adukan. Akibatnya, untuk mengimbangi kelayakan dan kekuatan, seringkali diperlukan penggunaan aditif pengurang air.

Pengaruh reduksi air pada campuran beton sangat kompleks dan tergantung pada berbagai faktor. Pengurangan air dapat meningkatkan kekuatan dan durabilitas beton, tetapi harus diimbangi dengan penggunaan bahan tambahan seperti aditif pengurang air untuk menjaga kelayakan adukan (*ACI 318-19 American Concrete Institute*).

Pengurangan air yang berlebihan dapat meningkatkan risiko retakan akibat penyusutan dan menghasilkan beton yang lebih rapuh. Oleh karena itu diperlukan pendekatan yang hati-hati dalam merancang campuran beton, dengan mempertimbangkan semua aspek teknis dan praktis (Mehta & Monteiro, 2014)

2.4 *Superplasticizer*

Superplasticizer adalah bahan kimia yang digunakan dalam campuran beton untuk meningkatkan konsistensi dan fluiditas tanpa menambah jumlah air. Aditif ini sangat penting dalam industri konstruksi modern, terutama dalam pembuatan beton berkekuatan tinggi dan beton pra-cetak. Dengan menambahkan *Superplasticizer*, rasio air-semen dapat dikurangi, sehingga meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton.

Penambahan *Superplasticizer* secara signifikan meningkatkan *workability* beton dengan menghasilkan nilai slump yang lebih tinggi, di mana dosis yang lebih tinggi memberikan kemudahan pengolahan yang lebih baik dibandingkan campuran kontrol tanpa *Superplasticizer*. *Superplasticizer* memberikan manfaat signifikan dalam meningkatkan sifat beton baik dalam keadaan segar maupun keras. Namun, penting untuk tidak melebihi dosis optimal karena dapat mengakibatkan penurunan kualitas beton.

Concrete: Microstructure, Properties, and Materials oleh P. K. Mehta dan P. J. M. Monteiro (2014) Menjelaskan berbagai aspek dari beton, termasuk pengaruh bahan tambah seperti *Superplasticizer* terhadap sifat fisik dan mekanik beton. Dalam buku ini, penulis menguraikan bagaimana *Superplasticizer* dapat meningkatkan *workability* beton dan mengurangi rasio air-semen, yang berkontribusi pada peningkatan kekuatan tekan beton.

Properties of Concrete oleh A. M. Neville (2011) juga membahas tentang *Superplasticizer* dan dampaknya terhadap kualitas beton. Neville menjelaskan bahwa *Superplasticizer* dapat meningkatkan kekuatan beton dengan cara mengurangi jumlah air yang diperlukan dalam campuran, sehingga menghasilkan beton yang lebih padat dan kuat.

2.4.1 **Jenis Superplasticizer**

Terdapat beberapa jenis *Superplasticizer* yang umum digunakan, termasuk jenis berbasis sulfonat, melamin, dan poliakrilat. *Superplasticizer* berbasis sulfonat, seperti naphthalene sulfonate formaldehyde, adalah yang paling banyak digunakan karena kemampuannya yang tinggi dalam mengurangi air. Sementara

itu, *Superplasticizer* melamin memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mempertahankan *workability* dalam waktu yang lebih lama. Penggunaan *Superplasticizer* poliakarilat, di sisi lain, semakin populer karena sifatnya yang ramah lingkungan dan kemampuannya dalam menghasilkan beton dengan performa tinggi (Singh et al., 2015).

Superplasticizer adalah jenis aditif beton yang digunakan untuk meningkatkan *workability* atau kemudahan pengolahan beton tanpa menambah jumlah air. Beberapa jenis *Superplasticizer* yang umum digunakan antara lain:

1. Polikarboksilat Eter (PCE): *Superplasticizer* ini memberikan peningkatan *workability* yang signifikan dengan sedikit atau tanpa penambahan air. PCE cocok untuk beton dengan kekuatan tinggi dan aplikasi di mana daya tahan sangat penting.
2. Lignosulfonat: Merupakan *Superplasticizer* berbahan dasar produk sampingan dari industri pulp dan kertas. Meskipun lebih murah, lignosulfonat memberikan efek plasticizing yang lebih rendah dibandingkan jenis lainnya, namun sering digunakan dalam beton pracetak dan proyek dengan anggaran terbatas.
3. Nafthalene Formaldehid Sulfonat (SNF): Salah satu jenis *Superplasticizer* yang banyak digunakan di industri konstruksi. SNF dapat meningkatkan *workability* beton dan mengurangi kebutuhan air, sangat cocok untuk beton dengan kekuatan normal hingga tinggi.
4. Melamin Formaldehid Sulfonat (MNSF): Memiliki kemampuan plasticizing yang baik dan sering digunakan untuk beton dengan kekuatan tinggi. MNSF juga efektif dalam pengurangan konsumsi air dan meningkatkan *workability* dalam pencampuran beton.
5. Sodium Gluconate: Digunakan untuk meningkatkan *workability* beton segar, jenis *Superplasticizer* ini juga membantu mencegah pengendapan material dalam campuran beton dan memberikan kontrol pada waktu pengikatan beton.

2.4.2 Mekanisme Kerja Superplasticizer

Mekanisme kerja *Superplasticizer* berkaitan dengan pengurangan tegangan permukaan air dalam campuran beton. Ketika *Superplasticizer* ditambahkan, partikel semen terdispersi lebih baik, sehingga mengurangi kemungkinan penggumpalan. Hal ini mengarah pada peningkatan mobilitas partikel, yang memungkinkan pencampuran yang lebih merata. Dengan meningkatnya fluiditas, beton dapat lebih mudah dicetak dan dibentuk tanpa menambah air, yang berpotensi merusak kekuatan akhir beton (Shokrieh et al., 2011).

2.4.3 Pengaruh Terhadap Sifat Beton

Penggunaan *Superplasticizer* tidak hanya meningkatkan *workability*, tetapi juga memengaruhi sifat fisik dan mekanik beton. Beton yang menggunakan *Superplasticizer* biasanya memiliki kepadatan lebih tinggi, porositas lebih rendah, dan kekuatan tekan yang lebih baik. Penelitian oleh Zhang et al. (2016) menunjukkan bahwa beton dengan *Superplasticizer* memiliki daya tahan yang lebih baik terhadap serangan kimia dan perubahan suhu, sehingga meningkatkan umur pakai struktur.

2.4.4 Aplikasi dalam Konstruksi

Dalam praktiknya, *Superplasticizer* banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk beton pra-cetak, beton bertulang, dan beton untuk struktur berisiko tinggi. Penggunaan *Superplasticizer* sangat bermanfaat dalam kondisi di mana *workability* yang tinggi diperlukan, seperti dalam pencetakan elemen beton dengan detail yang rumit. Selain itu, dalam proyek-proyek besar, *Superplasticizer* membantu mengurangi waktu pengeringan dan meningkatkan efisiensi produksi (Mehta & Monteiro, 2006).

2.5 Kapur Padam

Kapur padam, atau kalsium hidroksida (Ca(OH)_2), adalah senyawa kimia berwujud padat berwarna putih yang dihasilkan melalui reaksi antara kapur tohor (kalsium oksida, CaO) dengan air. Proses ini dikenal sebagai hidrasi, di mana kapur tohor ditambahkan air sehingga menghasilkan kapur padam yang bersifat alkali kuat.

Dalam industri konstruksi, kapur padam sering digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton. Penambahan kapur padam dapat meningkatkan workabilitas campuran beton, mempermudah proses pengerjaan, dan memberikan sifat plastisitas yang lebih baik. Selain itu, kapur padam dapat berfungsi sebagai *filler* yang mengisi rongga-rongga dalam campuran beton, sehingga meningkatkan kepadatan dan mengurangi porositas beton.

Dalam buku *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* oleh P. K. Mehta dan P. J. M. Monteiro (2014), Penggunaan kapur padam (Ca(OH)_2) dalam campuran beton telah terbukti dapat meningkatkan kepadatan dan kualitas beton. dijelaskan bahwa kapur padam dapat berfungsi sebagai bahan tambahan yang membantu proses hidrasi semen, sehingga meningkatkan reaksi kimia yang terjadi dalam campuran beton. Dengan meningkatkan reaksi hidrasi, kapur padam dapat mengurangi jumlah pori-pori dalam beton, yang berkontribusi pada peningkatan kepadatan dan mengurangi permeabilitas.

2.6 Water Absorption

Water Absorption test adalah metode pengujian untuk menentukan kemampuan beton dalam menyerap air ketika direndam atau terkena air dalam kondisi tertentu. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur porositas beton secara tidak langsung, yang merupakan parameter penting dalam menilai durabilitas beton terhadap lingkungan yang agresif.

2.6.1 Prinsip Dasar Water Absorption Test

Prinsip dasar pengujian *Water Absorption* adalah menghitung persentase peningkatan berat beton kering setelah direndam dalam air selama periode tertentu. Peningkatan berat ini mencerminkan volume air yang terserap ke dalam pori-pori beton. Nilai *Water Absorption* biasanya dinyatakan dalam persentase berat terhadap berat kering beton, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Water Absorption (\%)} = \frac{W_{\text{basah}} - W_{\text{kering}}}{W_{\text{kering}}} \times 100$$

Di mana:

- W_{basah} = berat beton setelah perendaman (gram)

- W_{kering} = berat beton sebelum perendaman (gram)

2.6.2 Tujuan Pengujian *Water Absorption*

Pengujian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan tingkat porositas beton yang memengaruhi penetrasi air dan bahan agresif lainnya.
2. Mengukur daya serap air beton sebagai indikator kualitas mikrostruktur dan komposisi campurannya.
3. Membandingkan durabilitas beton dengan berbagai variasi campuran bahan tambahan.

2.6.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi *Water Absorption*

Hasil pengujian *Water Absorption* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Komposisi Campuran Beton: Penggunaan bahan tambahan seperti kapur padam, *Superplasticizer*, atau fly ash dapat memengaruhi porositas beton.
2. Kepadatan Beton: Beton dengan kepadatan tinggi memiliki tingkat porositas yang lebih rendah, sehingga nilai *Water Absorption* lebih kecil.
3. Ukuran dan Distribusi Pori: Struktur mikro beton yang memiliki pori kecil dan tidak saling terhubung akan cenderung menyerap lebih sedikit air.
4. Kondisi Lingkungan: Suhu dan waktu perendaman memengaruhi jumlah air yang terserap.

2.6.4 Aplikasi dan Relevansi

Water Absorption test relevan untuk penelitian dan aplikasi sebagai berikut:

1. Mengevaluasi durabilitas beton terhadap serangan air, klorida, dan sulfat.
2. Menentukan tingkat kepadatan beton untuk penggunaan di lingkungan yang agresif.
3. Membandingkan performa beton dengan variasi bahan campuran untuk menghasilkan material yang lebih tahan air.
4. Membantu desain beton untuk struktur seperti bendungan, pelabuhan, dan bangunan bawah air yang memerlukan beton dengan permeabilitas rendah.

2.7 Sorptivity Test

Sorptivity adalah ukuran laju penyerapan air ke dalam beton melalui pori-pori kapiler akibat aksi kapilaritas. *Sorptivity Test* dilakukan untuk menghitung tingkat penyerapan air secara spesifik pada tahap awal saat beton bersentuhan dengan air. Nilai sorptivity diukur berdasarkan hubungan antara volume air yang terserap dan akar waktu (square root of time).

2.7.1 Prinsip Dasar Sorptivity Test

Prinsip dasar *Sorptivity Test* adalah mengukur jumlah air yang terserap ke dalam beton per satuan luas permukaan terhadap akar waktu. Dalam hal ini, aksi kapilaritas menjadi mekanisme utama transportasi air ke dalam pori-pori beton. Mekanisme tersebut dipengaruhi oleh sifat fisik beton, seperti ukuran, distribusi, dan konektivitas pori-pori.

Persamaan dasar yang digunakan untuk menentukan sorptivity adalah sebagai berikut:

$$I = S \cdot t^{0,5}$$

Di mana:

- I = kumulatif air terserap per satuan luas (mm^3/mm^2)
- S = nilai sorptivity ($\text{mm}/\text{menit}^{0,5}$)
- t = waktu (menit)

Sorptivity (S) dihitung dari kemiringan (slope) hubungan antara volume air terserap kumulatif (I) terhadap akar waktu ($t^{0,5}$).

2.7.2 Tujuan Pengujian Sorptivity

Pengujian sorptivity bertujuan untuk:

1. Mengevaluasi laju penetrasi air pada beton melalui pori-pori kapiler.
2. Menilai kualitas mikrostruktur beton, terutama terkait durabilitas terhadap penetrasi air dan bahan kimia.
3. Membandingkan performa beton dengan campuran bahan tambahan seperti *Superplasticizer*, kapur padam, atau material lainnya.

2.7.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sorptivity

Beberapa faktor yang memengaruhi hasil pengujian sorptivity, antara lain:

1. Komposisi Campuran Beton: Kandungan bahan tambahan, seperti *Superplasticizer*, fly ash, atau kapur padam, dapat memodifikasi ukuran dan distribusi pori.
2. Kepadatan Beton: Beton dengan kepadatan tinggi memiliki konektivitas pori yang lebih rendah, sehingga nilai sorptivity lebih kecil.
3. Kondisi Permukaan: Kekasaran dan kualitas permukaan beton memengaruhi kontak awal air dengan beton.
4. Waktu dan Suhu Pengujian: Pengujian pada suhu tinggi dapat mempercepat laju penyerapan air.

2.7.4 Aplikasi dan Relevansi

Sorptivity Test sering digunakan dalam penelitian untuk:

1. Membandingkan durabilitas beton dengan variasi bahan campuran.
2. Mengidentifikasi potensi kerusakan dini akibat serapan air berlebih.
3. Mengembangkan formulasi beton tahan air untuk aplikasi struktur di lingkungan agresif, seperti daerah pesisir.

2.8 Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian dengan judul “*The Effect of Cement Reduction and Substitution on the Mechanical and Durability Properties of Concrete*” oleh Kiran Ram et al., (2022) menemukan bahwa reduksi semen dalam campuran beton tidak secara signifikan menurunkan kekuatan tekan. Hal ini menunjukkan bahwa reduksi semen dapat dikurangi tanpa mengurangi kinerja mekanik beton dengan mengoptimalkan desain campuran dan bahan yang tepat, termasuk penggunaan *Superplasticizer* untuk meningkatkan *workability*. Oleh karena itu, metode ini tidak hanya mengurangi jejak karbon, tetapi juga menjaga kualitas dan daya tahan beton.

Penelitian dengan judul “*Low-Clinker Cements with Low Water Demand*” menemukan bahwa reduksi air dalam campuran beton secara signifikan meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton, sementara penggunaan bahan tambahan seperti *Superplasticizer* memungkinkan pengurangan air tanpa mengorbankan fluiditas, menghasilkan beton yang lebih kuat dan lebih tahan lama. (Smirnova, 2020)

Penelitian dengan judul **“Penggunaan Superplasticizer pada Beton Mutu F’c 25 MPa “** menunjukkan bahwa beton normal memiliki kuat tekan rata-rata 25,2 Mpa. Dengan penambahan *Superplasticizer* 0,5%, kuat tekan meningkat menjadi 26,4 MPa, dan dengan 1% menjadi 29,1 MPa. Kuat tarik belah juga meningkat seiring dengan penambahan *Superplasticizer*.(Sitanggang et al., 2022)

Berdasarkan hasil penelitian dengan judul **“*Evaluation of the superplasticizer effect on the workability and strength of concrete*”** menemukan bahwa penambahan *Superplasticizer* memberikan dampak positif pada kekuatan beton hingga dosis tertentu. Campuran beton dengan dosis *Superplasticizer* 0.8% menunjukkan kekuatan tekan tertinggi sebesar 39 N/mm². Namun peningkatan dosis *Superplasticizer* menjadi 1.0% dan 1.2% justru menyebabkan penurunan kekuatan tekan, masing-masing menjadi 33 N/mm² dan 29 N/mm². Hal ini menunjukkan bahwa overdosis *Superplasticizer* dapat mengakibatkan masalah seperti segregasi dan bleeding, yang berdampak negatif pada kohesi dan kekuatan beton.(Alsadey & Mohamed, 2020)

Berdasarkan penelitian dengan judul **“*A Review of the Utilisation of Hydrated Lime (CL-90) in Engineering Applications and its Sustainability Implications*”** menunjukkan bahwa Kapur Padam dalam campuran beton dapat meningkatkan kekuatan tekan dan ketahanan beton terhadap serangan kimia seperti sulfat yang dapat merusak struktur beton, terutama ketika dicampur dengan pozzolan seperti fly ash atau slag. Kapur Padam membantu mengisi pori-pori dalam matriks beton, mengurangi porositas dan meningkatkan densitas. Dengan mengurangi permeabilitas, beton yang mengandung Kapur Padam lebih tahan terhadap penetrasi air dan bahan kimia berbahaya. (Nadir et al., 2022)

Penelitian dengan judul **“*Effect of hydrated lime on structures and properties of decorative rendering mortar*”** menunjukkan bahwa penambahan Kapur Padam dalam campuran mortar dapat mempengaruhi struktur pori dari mortar yang dihasilkan. Dengan penambahan Kapur Padam, terdapat perubahan dalam distribusi ukuran pori, di mana ukuran pori besar cenderung berkurang dan ukuran pori kecil meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa Kapur Padam dapat membantu memperhalus mikrostruktur mortar.(Deng et al., 2020)

Penelitian dengan judul **“Penyerapan Dan Porositas Pada Beton Menggunakan Bahan Pond Ash Sebagai Pengganti Pasir”** menemukan bahwa dengan teori yang menyatakan semakin padat campuran beton, semakin tinggi tingkat kepadatan maka semakin besar kekuatannya, sebaliknya semakin renggang beton, semakin besar porositas beton, kekuatan beton semakin kecil/rendah dan semakin lemah. Tetapi dalam penelitian ini terjadi kebalikannya dikarenakan nilai penyerapan bahan pond ash sangat tinggi dibanding dengan penyerapan bahan pasir dan batu pecah, wajar apabila nilai porositas dalam campuran juga meningkat sesuai peningkatan komposisi pond ash nya. (Tumingan et al., 2016)

Penelitian dengan judul **“*Relationship between sorptivity and capillary coefficient for Water Absorption of cement-based materials: theory analysis and experiment*”** menunjukkan bahwa hubungan antara porositas dan penyerapan tidak selalu linier. Porositas yang rendah tidak selalu berbanding lurus dengan penyerapan yang rendah, karena faktor-faktor lain seperti ukuran dan konektivitas pori juga berperan penting dalam menentukan kemampuan material untuk menyerap air. Penyerapan air tidak hanya dipengaruhi oleh porositas, tetapi juga oleh struktur mikro dan distribusi ukuran pori dalam material. Misalnya, meskipun suatu material memiliki porositas rendah, jika pori-pori tersebut besar dan terhubung, penyerapan air bisa tetap tinggi. (Yang et al., 2019)

Penelitian dengan judul **“*A critical review of the Water Sorptivity Index (WSI) parameter for potential durability assessment: Can WSI be considered in isolation of porosity?*”** Studi ini menganalisis data dari 601 spesimen dan menemukan bahwa meskipun sorptivitas yang lebih tinggi sering kali berkorelasi dengan porositas yang lebih tinggi, kedua parameter ini dapat bervariasi secara independen berdasarkan laju perubahan massa. Meskipun sorptivitas dan porositas biasanya dianggap berhubungan secara invers, ada situasi di mana nilai tinggi dari satu parameter dapat terjadi bersamaan dengan nilai tinggi dari parameter lainnya, tergantung pada struktur pori dan konektivitasnya. (Moore et al., 2021)