

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Beton

Beton adalah material utama dalam konstruksi yang memiliki keunggulan unik, seperti kekuatan tekan tinggi, ketahanan terhadap cuaca ekstrem, dan fleksibilitas dalam pembentukan. Beton digunakan dalam berbagai proyek, mulai dari gedung hingga infrastruktur besar seperti jembatan dan bendungan. Beton dapat diperkuat dengan baja (beton bertulang) untuk meningkatkan kekuatan tariknya, menghasilkan struktur yang lebih kokoh dan tahan lama. Terbuat dari campuran agregat, semen, dan air, beton dalam keadaan plastis mudah dibentuk dan, melalui reaksi hidrasi, mengeras serta meningkatkan kekuatan strukturalnya.

Di dalam buku yang berjudul *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, beton adalah material komposit yang terdiri atas campuran agregat kasar, agregat halus, bahan perekat seperti semen Portland, dan air, yang mengeras melalui proses hidrasi menjadi struktur mirip batu. Beton memiliki kekuatan tekan tinggi, menjadikannya material utama untuk berbagai struktur, dari bangunan sederhana hingga infrastruktur besar. Kinerja beton bergantung pada bahan penyusun, proses pencampuran, dan metode pengerjaannya. Pemahaman mikrostruktur beton adalah kunci untuk meningkatkan daya tahan dan performanya. (Mehta dan Monteiro : 2006).

Beton merupakan material yang tersusun dari semen hidrolik, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah. (Mulyono : 2006). Sementara itu beton sebagai komposit dari bahan batuan yang direkatkan oleh bahan pengikat. Karakteristik beton dipengaruhi oleh kualitas bahan penyusunnya serta proses pengerjaan, termasuk penuangan, pemadatan, dan perawatan. Faktor seperti kandungan lumpur, kebersihan, dan gradasi agregat sangat menentukan kekuatan beton, sedangkan semen memengaruhi kecepatan pengerasan. Kombinasi ini memengaruhi hasil akhir beton secara keseluruhan. (Sagel dkk. : 1994).

Sifat beton dipengaruhi oleh mutu bahan, metode pengerjaan, dan cara perawatannya. Semen menentukan kualitas serta kecepatan pengerasan beton, sedangkan gradasi agregat halus memengaruhi kemudahan pengerjaan dan gradasi agregat kasar berdampak pada kekuatan beton. Selain itu, kualitas dan jumlah air

sangat berperan dalam proses pengerasan serta kekuatan akhir beton. (Murdock dan Brook : 2003)

Dalam buku berjudul *Beton*, beton diklasifikasikan berdasarkan kuat tekan karakteristiknya (f_c), yang biasanya diuji pada usia 28 hari menggunakan benda uji silinder atau kubus. Berikut adalah uraian yang disampaikan dalam buku tersebut :

a. Beton kelas rendah (*Low Strength Concrete*)

Beton kelas rendah digolongkan sebagai beton non-struktural yang digunakan untuk konstruksi ringan, seperti pondasi rumah sederhana dan lantai kerja. Beton ini memiliki campuran yang sederhana dan tidak memerlukan persyaratan teknis yang kompleks. Berdasarkan buku Tjokrodimuljo, beton kelas rendah memiliki kuat tekan kurang dari 20 MPa.

b. Beton kelas menengah (*Medium Strength Concrete*)

Beton kelas menengah digunakan untuk elemen beton bertulang, seperti kolom, balok, dan pelat lantai pada bangunan bertingkat rendah hingga sedang. Campurannya lebih presisi dan dihitung untuk mencapai kuat tekan yang diinginkan, dengan pengujian yang memerlukan pengendalian kualitas material yang lebih baik. Menurut Tjokrodimuljo, beton kelas menengah memiliki kuat tekan antara 20 hingga 40 MPa.

c. Beton kelas tinggi (*High Strength Concrete*)

Beton kelas tinggi didefinisikan sebagai beton struktural yang digunakan dalam proyek-proyek besar seperti jembatan, gedung pencakar langit, bendungan, dan struktur berat lainnya. Proses pembuatannya memerlukan pengawasan ketat, teknologi canggih, serta kontrol kualitas yang tinggi. Material yang digunakan lebih kompleks, sering melibatkan bahan tambahan (*filler*) untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan atau untuk efisiensi biaya. Berdasarkan klasifikasi, beton kelas tinggi memiliki kuat tekan lebih dari 40 MPa.

Dalam buku tersebut, dijelaskan bahwa kualitas beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk komposisi bahan seperti proporsi campuran agregat, semen, dan air. Selain itu, metode pengerjaan yang baik, seperti pencampuran,

pengadukan, pemadatan, dan curing, sangat penting untuk mencapai mutu beton yang optimal. Kondisi lingkungan juga memiliki peran penting, karena lingkungan saat proses pengerasan dapat mempengaruhi kekuatan akhir beton. (Tjokrodinuljo : 1996)

2.2 Bahan Campuran Beton

Di dalam buku *Properties of Concrete*, bahan campuran beton terdiri dari empat komponen utama, yaitu semen, air, agregat halus, dan agregat kasar. Semen berfungsi sebagai bahan pengikat yang akan mengeras melalui proses hidrasi ketika dicampur dengan air. Air memiliki peran penting dalam reaksi kimia ini, di mana jumlah air yang digunakan harus diperhatikan dengan cermat, karena rasio air terhadap semen (Water Cement Ratio) mempengaruhi kekuatan beton; semakin rendah rasio air-semen, semakin kuat beton yang dihasilkan. Agregat halus, seperti pasir, berfungsi untuk mengisi ruang kosong dan memberikan konsistensi pada campuran, sementara agregat kasar, seperti kerikil atau batu pecah, memberikan kekuatan struktural dan volume pada beton. Selain itu, di sebutkan bahwa *filler* dapat ditambahkan untuk memodifikasi sifat-sifat beton, seperti mempercepat pengerasan atau meningkatkan ketahanan terhadap kondisi lingkungan tertentu. Kombinasi yang tepat dari bahan-bahan ini sangat penting untuk mencapai beton yang memiliki kekuatan, ketahanan, dan keawetan yang optimal sesuai dengan kebutuhan proyek. (A.M. Neville : 2011)

2.2.1 Semen

Semen dijelaskan sebagai bahan pengikat yang sangat penting dalam pembuatan beton. Semen berfungsi untuk mengikat agregat (baik halus maupun kasar) sehingga membentuk suatu massa yang keras dan kuat setelah dicampur dengan air. Menurut mereka, semen terdiri dari beberapa komponen kimia utama, seperti kalsium silikat (C3S dan C2S), kalsium aluminat (C3A), dan kalsium aluminoferrit (C4AF), yang masing-masing memiliki peran penting dalam proses hidrasi yang terjadi setelah semen bercampur dengan air. Proses hidrasi ini menghasilkan senyawa-senyawa yang membentuk struktur kristalin keras, memberikan kekuatan pada beton seiring berjalannya waktu. Kualitas semen sangat mempengaruhi kekuatan dan ketahanan beton terhadap pengaruh lingkungan, seperti air, udara, dan bahan kimia. Semen yang digunakan dalam

beton harus memiliki kemampuan untuk mengatasi berbagai kondisi ekstrem, seperti kelembaban atau perubahan suhu yang drastis. Pemilihan jenis semen yang sesuai, seperti semen Portland biasa atau semen dengan bahan tambahan lainnya, harus disesuaikan dengan kondisi proyek untuk memastikan beton memiliki ketahanan yang optimal. Dengan demikian, semen bukan hanya berfungsi sebagai pengikat, tetapi juga memainkan peran kunci dalam menentukan karakteristik keseluruhan beton yang dihasilkan. (Risky dan Farlin : 2019)

Menurut ASTM C-1585 semen memiliki banyak jenis yang dibutuhkan sesuai dengan tipe bangunan yang dibuat, jenis semen hidrolik merupakan yang paling banyak digunakan dalam konstruksi. Semen Portland (termasuk dalam kategori semen hidrolik) merupakan bahan pengikat yang dapat mengeras dan memperoleh kekuatan dengan reaksi kimia antara semen dan air (proses hidrasi). Dalam ASTM C-1585, pengujian dilakukan untuk mengukur seberapa cepat air dapat meresap ke dalam sampel beton yang terbuat dari semen Portland, yang merupakan salah satu cara untuk menilai ketahanan terhadap penetrasi air dan daya tahan terhadap korosi pada beton yang mengandung semen Portland.

Menurut SNI 15-2049-2004, semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dari penggilingan terak semen dan bahan tambahan berupa kristal senyawa kalsium sulfat. Jenis-jenis semen yang sering digunakan dalam konstruksi dibagi berdasarkan komposisi kimia dan sifat fisiknya. Berikut adalah beberapa jenis semen menurut SNI 15-2049-2004:

a. Semen portland (*PC - Portland Cement*)

Semen yang paling sering digunakan dalam konstruksi adalah Semen Portland, yang terbuat dari campuran utama kalsium silikat dan sedikit kalsium aluminat. Ketika bereaksi dengan air, bahan ini membentuk pengikat yang sangat kuat. Terdapat beberapa variasi dari Semen Portland itu sendiri.

1. Semen Portland Biasa (*Ordinary Portland Cement - OPC*): Digunakan untuk pekerjaan konstruksi umum.
2. Semen Portland untuk Beton Bertulang (*Ordinary Portland Cement for Reinforced Concrete*): Digunakan untuk struktur yang membutuhkan beton bertulang.

b. Semen portland komposit (*PCC- Portland Composite Cement*)

Semen ini merupakan kombinasi antara Semen Portland dan bahan tambahan seperti slag, fly ash, atau pozzolan lainnya. Semen Portland komposit menawarkan sifat yang lebih unggul dalam hal ketahanan terhadap sulfat, alkali, dan faktor lingkungan lainnya. Bahan tambahan tersebut dapat meningkatkan daya tahan beton terhadap kondisi agresif serta mengurangi jejak karbon.

c. Semen Pozzolanik (*PZ - Pozzolanic Cement*)

Semen ini mengandung bahan pozzolan yang dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida dalam semen Portland pada kondisi basah. Bahan pozzolan tersebut dapat berupa abu terbang (fly ash), zeolit, atau batu apung. Semen pozzolan biasanya digunakan untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan memperlambat proses hidrasi, yang membuatnya cocok untuk aplikasi di lingkungan dengan tingkat kelembapan tinggi.

d. Semen Portland Hibrida (*PHC - Portland Hybrid Cement*)

Jenis semen ini merupakan campuran antara semen Portland dan bahan pengikat lain, seperti slag atau abu terbang, dalam proporsi tertentu. Semen ini lebih ramah lingkungan karena menggunakan bahan tambahan yang mengurangi penggunaan semen Portland murni dan emisi CO₂ dalam proses produksinya.

e. Semen Tahan Sulfat (*SRC - Sulfate Resisting Cement*)

Semen ini dirancang khusus untuk penggunaan di lingkungan yang mengandung kadar sulfat tinggi, seperti di daerah pesisir atau dalam air tanah yang mengandung sulfat. Semen tahan sulfat memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap serangan sulfat yang dapat merusak beton.

f. Semen Putih (*White Cement*)

Semen putih digunakan untuk aplikasi dekoratif atau di mana estetika penting, seperti pada finishing dinding atau lantai. Semen ini terbuat dari bahan baku dengan kandungan besi rendah, sehingga warnanya lebih terang dan lebih putih dibandingkan semen Portland biasa.

g. Semen Portland Khusus (*Special Portland Cement*)

Jenis semen ini memiliki komposisi yang disesuaikan dengan kebutuhan khusus, seperti semen yang dapat mengeras dalam waktu cepat (quick-setting cement) atau semen yang dapat digunakan dalam kondisi ekstrem, seperti semen tahan panas untuk aplikasi di industri tertentu.

Secara umum, jenis semen yang digunakan dalam suatu proyek tergantung pada kondisi lingkungan, kebutuhan struktural, dan tujuan penggunaan beton. Pemilihan jenis semen yang tepat sangat penting untuk memastikan kekuatan, daya tahan, dan keawetan beton yang dihasilkan sesuai dengan standar yang diinginkan.

2.2.2 Air

Air memiliki peranan yang sangat penting dalam pembuatan beton. Secara umum, air digunakan dalam proses hidrasi semen untuk membentuk pasta semen yang mengikat agregat (seperti pasir dan kerikil) menjadi satu kesatuan yang padat. Selain itu, jumlah air juga memengaruhi kekuatan tekan beton; kelebihan air dapat mengurangi kekuatan tersebut. Selain itu, kelebihan air dapat menyebabkan fenomena bleeding, di mana air bersama semen naik ke permukaan adukan beton yang baru dituangkan ke dalam cetakan. Ini mengakibatkan bahan penyusun beton lainnya tidak dapat melekat dengan baik pada lapisan-lapisannya. Dengan demikian, air sangat berpengaruh terhadap berbagai sifat fisik dan mekanik beton yang dihasilkan. Berikut adalah beberapa dampak air dalam campuran beton. (Umum : 2007)

a. Proses Hidrasi dan Kekuatan Beton

Air diperlukan untuk reaksi hidrasi antara semen dan air, yang mengubah semen menjadi pasta semen yang mengikat agregat menjadi padat. Semakin banyak air yang digunakan, semakin banyak reaksi hidrasi yang dapat terjadi, tetapi hanya jika rasio air-semen tepat. Rasio air-semen yang optimal menghasilkan beton dengan kekuatan maksimum. Namun, jika terlalu banyak air digunakan, kekuatan beton akan berkurang karena pasta semen menjadi lebih encer dan lebih banyak pori-pori yang terbentuk selama proses pengerasan.

b. Rasio Air terhadap Semen (Water Cement Ratio)

Rasio ini adalah faktor utama yang memengaruhi kekuatan beton. Semakin rendah rasio air-semen, semakin kuat beton yang dihasilkan karena volume pasta semen yang lebih sedikit, yang mengurangi jumlah pori dalam beton dan meningkatkan kepadatannya. Namun, rasio air yang terlalu rendah dapat menyulitkan pencampuran dan pematatan beton. Sebaliknya, jika rasio air-semen terlalu tinggi, beton akan lebih rapuh dan kurang tahan lama. Rasio yang umum digunakan untuk beton dengan kekuatan standar adalah sekitar 0,4 hingga 0,6 bahan beton serta kualitas air juga memengaruhi daya tahan beton terhadap kerusakan akibat lingkungan. Air yang tercemar dengan zat kimia atau bahan organik dapat mengganggu proses hidrasi dan menyebabkan penurunan kualitas beton. Beton yang terpapar air berkualitas buruk atau air laut dapat lebih rentan terhadap korosi dan pengaruh lingkungan agresif seperti sulfat atau klorida. Oleh karena itu, air yang digunakan dalam campuran beton harus bebas dari zat yang dapat merusak atau mengurangi kekuatan beton.

c. Workability

Jumlah air yang tepat dalam campuran beton juga memengaruhi workability atau kemudahan dalam pengadukan, pengangkutan, dan pengecoran beton. Campuran yang terlalu kering sulit untuk dipadatkan, sedangkan campuran yang terlalu basah mudah dipadatkan tetapi dapat menyebabkan segregasi (perpisahan agregat dari pasta semen). Oleh karena itu, jumlah air yang digunakan harus cukup untuk membuat campuran beton mudah diolah tetapi tidak berlebihan.

d. Retak dan Pengerinan

Air dalam campuran beton juga dapat menyebabkan retakan akibat pengerinan yang terlalu cepat. Ketika air menguap dari beton yang masih dalam proses pengerinan, perubahan volume dapat menyebabkan beton mengkerut dan retak, terutama jika tidak dilakukan perawatan (curing) yang baik. Perawatan yang tepat membantu mempertahankan kelembapan beton dan memastikan hidrasi terus berlanjut dengan baik.

1. Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter
2. Tidak mengandung senyawa sulfat apapun lebih dari 1 gram/liter

3. Tidak mengandung benda asing yang mengapung atau melayang di atas permukaan air
4. Tidak mengandung garam - garam ataupun senyawa lainnya yang bisa merusak beton (Asam, zat organik, air keras) lebih dari 15 gram/liter.

2.2.3 Agregat

Dalam buku yang berjudul *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, agregat didefinisikan sebagai bahan granular yang tidak terikat, seperti pasir, kerikil, atau batu pecah, yang merupakan komponen terbesar dalam beton berdasarkan volume, mencapai sekitar 70–80%. Di dalam buku di jelaskan bahwa agregat tidak hanya berfungsi sebagai pengisi, tetapi juga berperan penting dalam menentukan sifat mekanik, durabilitas, dan stabilitas beton. Di dalam buku juga menyoroti beberapa karakteristik penting agregat seperti berikut :

a. Ukuran dan Gradasi

Distribusi ukuran butir agregat, baik halus maupun kasar, sangat memengaruhi workability, kekuatan, dan densitas beton. Gradasi yang baik akan memastikan pengisian celah optimal di antara partikel agregat.

b. Kekerasan dan Kekakuan

Sifat mekanik seperti kekerasan dan modulus elastisitas agregat memengaruhi kekakuan dan ketahanan beton terhadap beban. Agregat yang keras dan tahan aus menghasilkan beton dengan kekuatan yang lebih tinggi.

c. Kestabilan Kimia

Sifat mekanik seperti kekerasan dan modulus elastisitas agregat memengaruhi kekakuan dan ketahanan beton terhadap beban. Agregat yang keras dan tahan aus menghasilkan beton dengan kekuatan yang lebih tinggi.

d. Berat Jenis

Agregat normal memiliki berat jenis sekitar 2,6 – 2,7 g/cm³, yang sesuai untuk beton struktural standar. Untuk beton ringan atau berat, agregat khusus seperti batu apung atau barit dapat digunakan.

Kualitas agregat memiliki dampak signifikan terhadap workability beton segar, sifat mekanik beton keras, dan perilaku beton dalam kondisi lingkungan ekstrem. Dengan pemilihan agregat yang tepat dan pengendalian kualitas, beton dapat dirancang untuk memenuhi kebutuhan spesifik proyek konstruksi. (Mehta dan Monteiro : 2014).

Agregat dalam beton dapat dikategorikan menjadi dua jenis utama berdasarkan ukurannya, yaitu agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus terdiri dari material granular kecil, seperti pasir alami atau buatan, dengan ukuran butir $\leq 4,75$ mm. Fungsi utama agregat halus adalah mengisi celah di antara agregat kasar, meningkatkan kepadatan beton, serta memengaruhi workability beton. Di sisi lain, agregat kasar mencakup material yang lebih besar, seperti kerikil alami atau batu pecah, dengan ukuran $> 4,75$ mm, yang berkontribusi pada kekuatan struktural dan stabilitas beton. Keduanya berkolaborasi untuk menghasilkan beton dengan sifat mekanik yang optimal, termasuk kekuatan tekan, kepadatan, dan ketahanan terhadap beban. Kualitas, gradasi, dan distribusi butiran dari kedua jenis agregat ini merupakan faktor kunci dalam menentukan performa keseluruhan beton.

a. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah bahan granular yang memiliki ukuran partikel lebih besar dari 4,75 mm dan berfungsi sebagai elemen struktural utama dalam campuran beton. Contoh agregat kasar meliputi kerikil alami, batu pecah, dan material lainnya yang bersifat inert secara kimia. Dalam beton, agregat kasar tidak hanya berperan sebagai pengisi volume, tetapi juga memberikan kontribusi signifikan terhadap kekuatan tekan, kekakuan, dan stabilitas beton terhadap beban mekanis.

Agregat kasar memengaruhi sifat beton secara langsung melalui berbagai karakteristiknya. Ukuran butiran dan gradasi adalah salah satu faktor kunci, karena distribusi ukuran yang baik dapat memastikan pengisian celah antar butiran, menghasilkan beton dengan densitas tinggi dan mengurangi porositas. Hal ini meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton. Kebersihan agregat juga sangat penting; keberadaan lumpur, tanah

liat, atau bahan organik lainnya dapat mengurangi adhesi antara pasta semen dan agregat, sehingga melemahkan beton.

Sifat mekanis agregat kasar seperti kekerasan dan ketahanan aus, memengaruhi kemampuan beton untuk menahan tekanan dan abrasi. Agregat yang lebih keras menghasilkan beton yang lebih kuat dan tahan lama. Selain itu, agregat kasar harus stabil secara kimia dan tidak bereaksi dengan senyawa alkali dalam semen. Reaksi alkali-silika (ASR), misalnya, dapat menyebabkan pembengkakan dan retakan pada beton, sehingga mengurangi umur layan struktur. Oleh karena itu, uji kestabilan kimia agregat menjadi hal yang sangat penting dalam desain beton.

Agregat kasar menyumbang sekitar 70–80% dari total volume beton, menjadikannya salah satu komponen paling dominan dalam menentukan performa beton. Pemilihan agregat kasar yang tepat dengan mempertimbangkan sifat fisik, kimia, dan mekanisnya akan memastikan beton yang dihasilkan memiliki kekuatan, stabilitas, dan durabilitas optimal untuk berbagai aplikasi struktural.

b. Agregat Halus

Agregat halus merupakan salah satu komponen utama beton yang terdiri dari material granular berukuran kecil, dengan diameter partikel maksimum 4,75 mm. Agregat ini biasanya berupa pasir alami, pasir buatan, atau material serupa yang berfungsi sebagai pengisi untuk mengurangi porositas beton, meningkatkan kepadatan campuran, dan memberikan kekuatan struktural yang lebih baik. Dalam campuran beton, agregat halus memengaruhi sifat workability, kemampuan beton untuk dicampur dan dicetak, serta membantu memastikan distribusi agregat kasar yang merata. Di dalam buku *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, agregat halus biasanya dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan asalnya, seperti:

1. Pasir Alam (Natural Sand)

Pasir alam diperoleh langsung dari alam melalui pengikisan atau pelapukan batuan oleh air atau angin. Pasir ini umumnya memiliki bentuk

butiran yang lebih bulat dan permukaan yang lebih halus, sehingga lebih mudah bekerja dalam campuran beton.

2. Pasir Buatan (*Manufactured Sand*)

Pasir buatan dihasilkan melalui proses pemecahan batuan keras seperti granit atau batu kapur dengan mesin penghancur. Pasir ini cenderung memiliki butiran yang lebih tajam dan kasar dibandingkan pasir alam, yang dapat mempengaruhi workability beton.

3. Pasir Laut (*Marine Sand*)

Pasir laut adalah pasir yang diambil dari dasar laut atau pantai. Namun, pasir laut memerlukan proses pembersihan yang lebih intensif karena dapat mengandung garam yang dapat berpotensi merusak kekuatan dan durabilitas beton.

2.3 *Filler*

Filler dalam beton adalah bahan tambahan yang ditambahkan ke dalam campuran beton untuk memodifikasi sifat-sifat tertentu dari beton segar atau beton yang telah mengeras, tanpa mengubah komposisi dasar bahan penyusun beton, seperti semen, air, dan agregat. Dalam bukunya berjudul Teknologi Beton, disebutkan bahwa *filler* berfungsi untuk meningkatkan kinerja beton dalam berbagai aspek, seperti workability, kekuatan, durabilitas, atau proses pengerasan beton, tergantung pada jenis *filler* yang digunakan. (Tjokrodinuljo : 1996)

Di dalam buku berjudul *Cement and Concrete Research*, disebutkan beberapa jenis admixture yang paling umum digunakan dalam pembuatan beton.

a. Campuran Pengurang Air (*Water Reducing Admixture*)

Campuran ini digunakan untuk mengurangi jumlah air yang dibutuhkan dalam campuran tanpa mempengaruhi kemampuan pengerjaan. Campuran ini dapat meningkatkan kekuatan beton dan mengurangi risiko retak. Kategori ini mencakup plasticizer dan superplasticizer, yang dapat meningkatkan daya alir beton secara signifikan sambil mempertahankan rasio air terhadap semen yang rendah.

b. Campuran Pemercepat (*Accelerating Admixture*)

Campuran ini mempercepat proses hidrasi dan pengerasan awal beton. Ini sangat berguna dalam cuaca dingin atau ketika bekisting harus

segera dilepas. Kalsium klorida adalah contoh umum, yang membantu meningkatkan kekuatan beton pada tahap awal.

c. Campuran Penghambat (*Retarding Admixture*)

Campuran Penghambat: Berbeda dengan akselerator, campuran penghambat memperlambat waktu pengerasan beton. Ini sangat berguna di daerah beriklim panas di mana beton cenderung mengeras terlalu cepat, yang berpotensi menimbulkan masalah pada kemampuan kerja dan ikatan.

d. Campuran Pengikat Udara (*Air Entraining Admixture*)

Campuran Pengikat Udara: Campuran ini membantu menciptakan gelembung udara kecil di dalam beton, yang meningkatkan ketahanannya terhadap siklus pembekuan dan pencairan. Ini penting untuk beton yang terpapar kondisi cuaca ekstrem.

e. Campuran Pozzolan (*Pozzolanic Admixture*)

Campuran Pozzolan: Ini termasuk bahan-bahan seperti abu terbang dan asap silika yang meningkatkan daya tahan dan kekuatan beton dengan mengurangi pembangkitan panas selama hidrasi dan meningkatkan ketahanan terhadap serangan kimia.

2.3.1 Kalsium Hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) (*Kapur Padam*)

Kapur padam ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) terbentuk akibat dari pemanasan batu kapur (CaCO_3) pada suhu tinggi untuk menghasilkan kapur tohor (CaO) dan gas karbon dioksida (CO_2). Kapur tohor kemudian bereaksi dengan air melalui proses hidrasi, menghasilkan kapur padam ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Reaksi ini bersifat eksotermis, yang artinya menghasilkan panas. Kapur padam memiliki tekstur halus dan digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti bahan bangunan, penetralan asam, dan pengolahan air. Proses ini penting dalam industri dan membutuhkan pengendalian suhu serta kualitas bahan baku. (Menurut Kosmatka dan Wilson : 2016)

Dalam buku berjudul *Concrete Technology* dibahas terutama dalam konteks perannya dalam meningkatkan sifat beton, khususnya dalam hal kemampuan kerja dan ketahanan. Kapur padam, yang secara kimia dikenal sebagai kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), diproduksi dengan menambahkan air ke kapur tohor (CaO) dalam proses yang dikenal sebagai slaking.

Di buku tercatat bahwa ketika kapur padam digunakan dalam campuran beton, ia meningkatkan kemampuan kerja campuran, membuatnya lebih mudah ditangani dan ditempatkan. Ini penting dalam proyek konstruksi skala besar di mana kemudahan penanganan dan konsistensi merupakan faktor kunci. Selain itu, kapur padam berkontribusi pada ketahanan beton jangka panjang dengan membantu meningkatkan ketahanannya terhadap pelapukan dan serangan kimia, seperti yang disebabkan oleh sulfat atau klorida tetapi dalam kondisi tertentu seperti dalam pembuatan beton ruangan yang tahan korosif. (M.S. Shetty : 2012)

Kapur padam juga dapat memengaruhi struktur pori beton, menyempurnakannya, dan mengurangi permeabilitasnya. Ini membuat beton kurang rentan terhadap penetrasi kelembapan dan bahan kimia berbahaya, yang dapat menyebabkan kerusakan seiring berjalannya waktu.

Keuntungan lingkungan dari penggunaan kapur terhidrasi dibandingkan dengan bahan pengikat lainnya seperti semen Portland. Kapur terhidrasi biasanya memiliki jejak karbon yang lebih rendah selama produksi, menjadikannya pilihan yang lebih berkelanjutan dalam praktik konstruksi yang ramah lingkungan. Bila dikombinasikan dengan bahan pozzolan lainnya, ia juga dapat meningkatkan kekuatan dan mengurangi dampak lingkungan dari produk beton akhir. (S. Chandra : 2008)

Penelitian terdahulu juga menyinggung penggunaan kapur padam sebagai bahan campuran pengganti semen, dalam penelitian - penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa dalam setiap penggunaan kapur padam sebagai filler beton harus didampingi dengan bahan lain yang mengandung senyawa *pozzolan* yang dimana mendukung kapur padam dalam proteksi terhadap senyawa asam yang korosif seperti halnya sulfat.

Dikarenakan dalam campuran beton, pozzolan akan bereaksi terhadap senyawa Ca(OH)_2 yang dimana reaksi tersebut membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (CSH) sehingga dalam senyawa tersebut faktor dari Ca(OH)_2 akan berkurang yang membuat beton akan kuat terhadap serangan dari sulfat dan air laut. (ASTM-C 618-92a).

2.3.2 Superplastisizer (*High Range Water Reducer*)

Superplastisizers, juga dikenal sebagai high range water reducers, adalah jenis *filler* beton yang digunakan untuk meningkatkan kerja beton dengan mengurangi jumlah air yang diperlukan tanpa mengurangi kekuatan atau keterampilan kerja beton. Penggunaan superplastisizer bertujuan untuk bisa mengontrol dan menghasilkan nilai slump yang optimal pada beton segar (*workable*), sehingga bisa dihasilkan kinerja pengecoran beton yang baik. Superplastisizer mutlak diperlukan pada beton mutu tinggi atau sangat tinggi, karena kondisi *fas* yang umumnya sangat rendah. Namun dalam segala hal, penggunaan superplastisizer harus sesuai dengan standar ASTM-C 494-81 tipe F.

Untuk memastikan dosis superplastisizer yang tepat, diperlukan uji coba campuran (*trial mixes*) dengan berbagai variasi dosis untuk mencapai kelecakan optimal sesuai yang diharapkan. Berdasarkan penelitian terdahulu, penambahan superplastisizer pada beton dengan *fas* rendah (0,28) menunjukkan peningkatan nilai slump yang signifikan. Nilai slump awal 1,5 cm meningkat menjadi 9,5 cm dengan dosis 1,25%, dan mencapai 12,5 cm dengan dosis 2%. Penelitian ini menggunakan superplastisizer jenis Sikamen-163 yang diproduksi oleh PT. Sika Nusa Pratama. (Supartono : 1998)

Pada penelitian yang berjudul "*Penggunaan Superplastisizer Pada Beton dengan Mutu Beton $F'c$ 25 Mpa*" Oleh Rivaldo Sitanggang dkk dari Universitas Darma Agung mendapatkan kesimpulan dari penelitian tersebut adalah penggunaan superplasticizer dapat menaikkan daya tekan dan daya tarik beton, semakin tinggi dosis penggunaan superplasticizer maka semakin tinggi daya tekan yang dihasilkan. Dan kesimpulan tersebut murujuk dari data hasil perbandingan kuat tekan beton normal dan beton dengan tambahan *filler* berupa superplastisizer, setiap penambahan 0,5 % superplastisizer kedalam campuran beton normal akan meingkatkan kuat tekan beton mencapai 10%.

2.4 Reduksi Air dan Semen

Reduksi air dan semen dalam campuran beton merupakan faktor kritis yang mempengaruhi kekuatan dan durabilitas beton. Dengan mengurangi rasio air-semen, beton dapat mencapai kepadatan yang lebih tinggi, mengurangi porositas, dan meningkatkan ketahanan terhadap kerusakan akibat beku-cair serta

serangan kimia. Namun, pengurangan ini harus diimbangi dengan penggunaan admixture seperti superplasticizer untuk menjaga workability, sehingga beton tetap mudah dikerjakan. Selain itu, penting untuk memastikan bahwa proses curing dilakukan dengan baik agar kelembapan beton terjaga, sehingga kekuatan optimal dapat tercapai. Oleh karena itu, pemilihan rasio air-semen yang tepat sangat penting dalam desain campuran beton untuk memenuhi kebutuhan struktural dan fungsional.

Reduksi air dan semen dalam campuran beton telah menjadi fokus penelitian oleh banyak ahli di bidang teknik sipil. Menurut A. M. Neville, seorang pakar beton, pengurangan rasio air-semen secara signifikan dapat meningkatkan kekuatan dan durabilitas beton, karena hal ini mengurangi porositas dan meningkatkan kepadatan material. (A.M. Neville : 2011)

Sementara itu, penelitian oleh Mehta dan M. Monteiro menunjukkan bahwa penggunaan superplasticizer memungkinkan pengurangan air tanpa mengorbankan workability, yang penting untuk aplikasi praktis. (Mehta dan Monteiro : 2006).

Murdock et al. menyatakan bahwa pengurangan semen dapat dilakukan dengan substitusi material tambahan seperti fly ash atau silica fume, yang tidak hanya mengurangi biaya, tetapi juga meningkatkan durabilitas beton dalam jangka panjang. (Murdock et al : 1991)

2.5 Mekanisme Serangan Sulfat Pada Beton

Serangan sulfat terhadap beton terjadi ketika sulfat, yang dapat berasal dari berbagai sumber seperti tanah, air, atau bahan tambahan dalam beton itu sendiri, bereaksi dengan komponen beton dan menyebabkan degradasi struktur. Mekanisme serangan sulfat terhadap beton dapat bervariasi tergantung pada beberapa faktor, termasuk jenis sulfat, konsentrasi sulfat, dan kondisi lingkungan.

Konstruksi beton yang dibangun dibawah tanah maupun di laut, lingkungannya dapat mengandung sodium, kalsium, magnesium klorida dan magnesium sulfat. Kalsium hidroksida atau kapur yang terdapat dalam semen akan bereaksi dengan sulfat dan air, kemudian menghasilkan kalsium sulfat atau gypsum. Terbentuknya kalsium sulfat ini bila kemudian keadaannya kering, gips akan membentuk kristalnya yang seperti jarum dan mengembang, mendesak sisi

sekitarnya sehingga terjadi pengrusakan pada sisi sekitar itu dan dapat terlihat pasta atau adukan betonnya merapuh. (Supartono : 1996)

Pada proses hidrasi semen dihasilkan kalsium hidroksida dan kalsium aluminat hidrat. Kalsium hidroksida bersifat alkalin dimana sifat ini menyebabkan beton sensitif terhadap serangan garam sulfat. Magnesium sulfat akan bereaksi dengan kalsium hidroksida akan menghasilkan kalsium sulfat dan magnesium hidroksida. rekasinya sebagai berikut:



CaSO₄ = kalsium sulfat (gypsum)

Selanjutnya gypsum bereaksi dengan kalsium aluminat hidrat akan menghasilkan kalsium sulfoaluminat (ettringite) yang bersifat mengembang sehingga menyebabkan muai dan retak pada beton. Reaksinya sebagai berikut:



kalsium sulfo aluminat

Oleh karena pengembangan volume yang melampaui volume asalnya, maka proses kimiawi ini akan menimbulkan penggelembungan dan retak. (Putra : 2006)

Garam-garam sulfat yang umum terdapat secara alami dalam tanah merupakan garam-garam sulfat yang merugikan karena merupakan kontaminasi sulfat akibat adanya reaksi kimia yang ditimbulkan dengan semen atau beton. Garam-garam tersebut adalah Natrium sulfat dan Magnesium sulfat, yang banyak ditanah. Magnesium sulfat merupakan garam yang paling agresif dan bersifat reaktif pada beton, karena mudah bereaksi dengan kalsium hidroksida yang merupakan sisa hasil hidrasi antara semen dengan air yang menghasilkan gypsum dan ettringite yang bersifat menambah volume sehingga terjadi pengembangan dan akhirnya dapat merusak beton. (Husin : 2010).

2.5.1 Faktor Utama Yang Mempengaruhi Serangan Sulfat

Serangan sulfat pada suatu objek dipengaruhi oleh beberapa faktor utama yang melibatkan interaksi antara sulfat dengan komponen-komponen objek terkait. Faktor-faktor ini dapat bervariasi dan memainkan peran penting dalam menentukan sejauh mana serangan sulfat dapat merusak suatu objek.

Menurut Cement Concrete and Aggregates Australia (2002), dalam tingkat keparahan serangan sulfat pada beton tergantung pada beberapa faktor antara lain sebagai berikut.

1. Jenis sulfat, magnesium dan ammonium sulfat adalah yang paling merusak beton.
2. Konsentrasi sulfat, makin besar kadar sulfat maka akan lebih merusak beton.
3. Cara kontak antara sulfat dan beton. Pada kasus air yang mengalir, keparahan serangan sulfat makin meningkat. Serangan yang lebih intensif terjadi pada beton yang terkena siklus pembasahan dan pengeringan daripada beton yang terus menerus tenggelam dalam larutan sulfat.
4. Tekanan. Adanya tekanan dari luar beton cenderung memaksa larutan sulfat masuk ke beton mengakibatkan meningkatnya keparahan serangan sulfat.
5. Suhu. Seperti kebanyakan reaksi kimia lainnya, laju reaksi meningkat dengan suhu.
6. Keberadaan ion lain. Ion lain yang hadir dalam larutan sulfat mempengaruhi keparahan serangan. Misalnya sodium hidroksida dapat mengurangi ekspansi sulfat, sodium klorida dapat memperlambat pembentukan ettringite, dan magnesium klorida dapat mencegah terbentuknya ettringite secara sempurna.

2.5.2 Sumber - Sumber Sulfat

Sulfat dapat berasal dari berbagai sumber alami dan antropogenik. Berikut adalah beberapa sumber utama sulfat:

a. Sumber Alami:

1. Air Laut: Air laut mengandung konsentrasi sulfat yang signifikan, terutama dalam bentuk ion sulfat (SO_4^{2-}). Proses evaporasi air laut dapat meninggalkan endapan garam sulfat.
2. Batuan dan Mineral: Beberapa mineral mengandung sulfat, seperti gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan anhidrit (CaSO_4). Ketika mineral ini terurai atau tererosi, sulfat dapat masuk ke dalam tanah dan air.

3. Air Tanah: Sulfat dapat larut dalam air tanah dari batuan yang mengandung mineral sulfat. Ini dapat terjadi secara alami sebagai bagian dari siklus hidrologi.
 4. Aktivitas Biologis: Beberapa bakteri dan mikroorganisme dapat menghasilkan senyawa sulfat sebagai hasil dari aktivitas biologis mereka.
 5. Aktivitas Vulkanik: Letusan gunung berapi dapat melepaskan gas sulfur dioksida (SO_2) ke atmosfer, yang kemudian dapat bereaksi dengan air untuk membentuk sulfat.
- b. Sumber Antropogenik (Berkaitan dengan Aktivitas Manusia):
1. Industri: Proses industri, seperti produksi asam sulfat, pemurnian logam, dan pengolahan mineral, dapat menghasilkan limbah yang mengandung sulfat.
 2. Pertanian: Penggunaan pupuk fosfat dan pupuk lainnya yang mengandung sulfur dapat menyumbang pada peningkatan kandungan sulfat dalam tanah dan air.
 3. Pembakaran Bahan Bakar Fosil: Pembakaran batu bara dan minyak bumi dapat menghasilkan emisi sulfur dioksida (SO_2), yang dapat bereaksi dengan air untuk membentuk sulfat.
 4. Limbah Domestik: Limbah domestik yang mengandung deterjen atau produk pembersih yang mengandung sulfat dapat menyumbang pada kandungan sulfat dalam air limbah.
 5. Pembuangan Limbah: Limbah industri dan domestik yang mengandung sulfat dan tidak diolah dengan benar dapat mencemari air tanah dan permukaan.

Menurut Mishra (2010), sumber sulfat yang dapat mengakibatkan kerusakan pada beton adalah sebagai berikut:

a. Sumber Internal

Meskipun jarang ditemukan, namun sulfat dapat berasal dari dalam beton itu sendiri, yaitu berasal dari bahan-bahan beton seperti semen hidrolis, fly ash, agregat, dan bahan lainnya.

b. Sumber Eksternal

Sulfat memang umum terdapat pada tanah atau air tanah, atau juga berasal dari limbah industri yang ada di sekitar struktur beton tersebut.

2.6 Magnesium Sulfat (MGS_o4)

Magnesium sulfat, yang juga dikenal sebagai garam Epsom atau Garam Inggris, merupakan senyawa yang banyak digunakan di berbagai sektor, termasuk kesehatan, pertanian, dan konstruksi. Menurut beberapa sumber, magnesium sulfat berperan penting dalam meningkatkan kualitas tanah dengan menyediakan magnesium, yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman. Magnesium sulfat juga digunakan dalam pengobatan karena khasiat terapeutiknya, seperti mengobati kekurangan magnesium dan bertindak sebagai pencahar. Selain itu, dalam konteks konstruksi dan ilmu material, magnesium sulfat digunakan untuk menilai dan mengurangi dampak serangan sulfat pada struktur beton.

Misalnya, dalam kasus serangan sulfat, magnesium sulfat dapat menyebabkan kerusakan beton dengan bereaksi dengan kalsium hidroksida, yang melemahkan struktur beton dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, keberadaan magnesium sulfat dalam material beton harus dikelola dengan hati-hati untuk mencegah kerusakan struktural jangka panjang. Perannya dalam modifikasi dan pengawetan beton ditegaskan oleh pengaruhnya terhadap sifat material, yang dapat memengaruhi daya tahan dan kekuatan produk akhir.

Singkatnya, meskipun magnesium sulfat memiliki berbagai fungsi praktis di berbagai bidang, implikasinya dalam konstruksi, khususnya yang berkaitan dengan reaksi sulfat, sangat penting untuk memastikan keawetan dan kekuatan struktur beton. (Nugraha, P : 1989)

2.7 Slump Test

Di dalam buku "Design and Control of Concrete Mixtures", slump test adalah metode untuk menentukan konsistensi beton segar yang memberikan indikasi kemampuan campuran beton untuk mengalir dan mempertahankan homogenitas selama pengerjaan. Uji ini dianggap sederhana, cepat, dan cocok untuk digunakan di lapangan. Slump test membantu memastikan bahwa campuran beton memiliki kelecakan yang sesuai untuk aplikasi tertentu sehingga bisa

menentukan nilai ketinggian campuran sebagai acuan untuk menentukan campuran tersebut sudah layak guna atau belum.

Nilai slump yang terlalu rendah menunjukkan beton yang terlalu kental (dapat menyulitkan pengerjaan), sedangkan nilai yang terlalu tinggi bisa menjadi tanda kelebihan air dalam campuran, yang dapat mengurangi kekuatan dan daya tahan beton. Metode ini juga menjadi bagian penting dalam pengendalian mutu beton di lokasi konstruksi, memberikan jaminan bahwa beton memenuhi persyaratan desain sebelum pengecoran dimulai. (Kosmatka dan Wilson : 2011)

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 1972 : 2008) adapun langkah kerja yang harus dilakukan dalam sebuah pengujian *Slump test* ialah sebagai berikut :

1. Basahi cetakan dan letakkan di atas permukaan yang datar, lembab, tidak menyerap air, dan stabil. Cetakan harus dipegang dengan kuat oleh operator yang berdiri di atas bagian injakan selama proses pengisian. Setelah itu, segera isi cetakan dalam tiga lapisan, masing-masing sekitar sepertiga dari volume cetakan. Lapisan pertama diisi hingga ketebalan 67 mm, sementara dua pertiga dari volume diisi hingga mencapai ketebalan 155 mm.
2. Padatkan setiap lapisan dengan 25 tusukan menggunakan batang pemadat. Sebarkan tusukan secara merata di permukaan setiap lapisan. Untuk lapisan bawah, lakukan tusukan secara miring, dengan sekitar setengah dari total tusukan dekat batas pinggir cetakan, kemudian lanjutkan dengan tusukan vertikal secara spiral di sekitar pusat permukaan. Pastikan lapisan bawah terpadatkan sepenuhnya hingga kedalamannya. Hindari agar batang pemadat tidak mengenai pelat dasar cetakan. Padatkan juga lapisan kedua dan lapisan atas sepenuhnya hingga kedalamannya, sehingga tusukan menembus batas lapisan di bawahnya.
3. Saat mengisi dan memadatkan lapisan atas, tambahkan adukan beton di atas cetakan sebelum proses pemadatan dimulai. Jika pemadatan menyebabkan beton turun di bawah tepi atas cetakan, tambahkan lagi adukan beton untuk memastikan ada kelebihan di bagian atas cetakan. Setelah lapisan atas dipadatkan, ratakan permukaan beton di bagian atas

cetakan dengan menggelindingkan batang pemadat di atasnya. Segera lepaskan cetakan dari beton dengan cara mengangkatnya secara vertikal dengan hati-hati. Angkat cetakan sejauh 300 mm dalam waktu 5 ± 2 detik tanpa gerakan lateral atau putaran. Selesaikan seluruh proses pengujian, dari pengisian hingga pelepasan cetakan, tanpa gangguan dalam waktu maksimal 2 ½ menit.

4. Setelah beton menunjukkan penurunan pada permukaannya, segera ukur slump dengan menentukan perbedaan ketinggian antara tepi atas cetakan dan bagian tengah permukaan beton. Jika terjadi keruntuhan atau pergeseran pada salah satu sisi atau sebagian massa beton, abaikan pengujian tersebut dan lakukan pengujian baru dengan sampel yang berbeda. Jika dua pengujian berturut-turut pada satu contoh beton menunjukkan pergeseran di satu sisi atau sebagian massa, kemungkinan adukan beton kurang plastis atau kurang kohesif untuk melakukan pengujian slump.

2.8 Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menahan gaya tekan maksimum per satuan luas sebelum mengalami kegagalan. Pengujian dilakukan menggunakan spesimen berbentuk silinder maupun kubus yang diuji dalam posisi vertikal pada mesin tekan hidrolik. Proses pengujian melibatkan aplikasi beban tekan secara bertahap dan merata hingga beton mencapai titik pecah. Nilai kuat tekan dihitung dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh spesimen dengan luas penampangnya. Standar ini digunakan secara luas karena memastikan akurasi dan konsistensi pengukuran, menjadikannya acuan utama dalam evaluasi kualitas beton untuk konstruksi bangunan dan infrastruktur.

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh berbagai faktor yang berhubungan dengan material, metode produksi, pengujian, dan kondisi lingkungan. (ASTM C39-20). Berikut adalah faktor utama yang memengaruhi hasil kuat tekan beton:

1. Proporsi Campuran Beton
2. Pengerjaan Beton
3. Perawatan Beton (*Curing*)
4. Umur Beton

5. Ukuran dan Bentuk Spesimen
6. Kecepatan Pembebanan pada Pengujian
7. Kondisi Lingkungan
8. Serta Faktor Material Tambahan (*Admixture*)

Tata cara pengujian yang paling umum dipakai adalah standar ASTM C

39 - 20. Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan beton adalah:

$$f_c = \frac{P}{A}$$

f_c = Kuat Tekan Beton (MPa),

P = Beban Maksimum (N),

A = Luas Penampang Spesimen (mm²).

2.9 Perawatan Beton

Di dalam buku berjudul *Concrete Technology Second Edition*, perawatan beton (curing) sangat penting untuk memastikan beton dapat mencapai kekuatan yang optimal. Perawatan beton dilakukan untuk menjaga kelembapan dalam beton, karena hidrasi semen yang tidak terkontrol atau terlalu cepat dapat mengurangi kualitas dan kekuatan beton. Tanpa perawatan yang tepat, beton bisa mengalami retak atau kekuatan yang lebih rendah dari yang diharapkan.

Di dalam buku menekankan bahwa setelah pengecoran, beton harus dipertahankan dalam kondisi lembap selama beberapa hari untuk memungkinkan proses hidrasi yang berkelanjutan. Biasanya, perawatan dilakukan selama 7 hari untuk beton normal, tetapi bisa lebih lama jika beton mengandung semen yang membutuhkan waktu hidrasi lebih panjang (seperti semen tipe II atau IV). Perawatan ini dapat dilakukan dengan cara membasahi permukaan beton secara teratur, menggunakan lapisan pelindung untuk mengurangi penguapan, atau dengan teknik lain yang menjaga kelembapan dan suhu yang stabil. (Neville dan J.J Brooks : 2011)

Di dalam bukunya *Teknologi Beton*, perawatan beton adalah langkah krusial yang dilakukan untuk menjaga kelembapan beton setelah proses pengecoran, sehingga beton dapat mencapai kekuatan optimal. Di dalam buku menjelaskan bahwa hidrasi semen, yang merupakan reaksi kimia antara semen dan air, memerlukan waktu untuk berkembang. Jika beton terlalu cepat kehilangan

airnya, hidrasi tersebut akan terganggu, mengakibatkan pengurangan kekuatan dan ketahanan beton. (Mulyono : 2013)

Dalam bukunya, Mulyono menyarankan beberapa metode perawatan beton yang efektif:

1. Pembasahan secara langsung

Beton dibasahi dengan air secara teratur menggunakan selang atau alat lainnya untuk mencegah penguapan air yang berlebihan.

2. Penggunaan penutup pelindung (membran)

Penutup seperti plastik atau karung basah digunakan untuk menutupi permukaan beton, menjaga kelembaban dan suhu yang stabil.

3. Perawatan dengan uap

Metode ini digunakan untuk mempercepat proses hidrasi, terutama dalam kondisi cuaca dingin.

4. Perendaman secara langsung

Beton direndam dalam air untuk menjaga kelembaban. Proses ini bertujuan untuk menjaga agar reaksi hidrasi semen terus berlangsung dengan baik, yang sangat penting dalam memastikan beton mencapai kekuatan dan ketahanan yang optimal.

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian oleh Institut Teknologi Nasional (2020) berjudul “*Kajian Batasan Nilai Faktor Air Semen pada Campuran Beton di Lingkungan Korosif*” (2020) disimpulkan bahwa batasan faktor air-semen sebesar 0,45 dalam metode SNI 03-2384-2000 untuk beton yang digunakan di lingkungan air laut merupakan batasan yang sangat aman. Bahkan, batasan ini masih dapat ditingkatkan hingga 0,50, asalkan kadar semen minimum sebesar 300 kg/m³ terpenuhi. Hal ini karena beton dengan spesifikasi tersebut tetap mampu memenuhi persyaratan ketahanan (durabilitas) sesuai dengan umur desain bangunan.

Penelitian yang dilakukan oleh M. Luqmanul Khakim dan kawan kawan (2022) dengan judul “*Perbandingan Penambahan Kapur (Ca(OH)₂) dan (CaCO₃) guna Mengaktivasi Lumpur Lapindo untuk Meningkatkan Kuat Tekan Mortar*” disimpulkan bahwa dalam penambahan 60% Ca(OH)₂ dengan besarnya penyerapan air 14.49% yang dibandingkan dengan penambahan CaCO₃ 40%

dengan penyerapan 21.210%, hal ini menunjukkan bahwa dalam penyerapan air campuran yang menggunakan Ca(OH)_2 lebih rendah menyerap air.

Penelitian yang dilakukan oleh Rivaldo Sitanggang dan kawan kawan (2022) berjudul “*Penggunaan Superplastisizer Pada Beton Mutu $F'c$ 25 Mpa*” disimpulkan bahwa persentase kuat tekan beton tertinggi dicapai pada dosis Superplasticizer sebesar 1% dengan usia beton 28 hari, yaitu mencapai 29,1 MPa.

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Nuzul Ramadhan (2023) tentang “*Pengaruh Pengurangan Jumlah Air pada Beton dengan Penambahan Polynex HE*” disimpulkan bahwa penggunaan Polynex HE dengan pengurangan jumlah air dalam campuran beton memberikan pengaruh yang signifikan tergantung pada kadar penggunaannya. Penambahan Polynex HE pada campuran beton meningkatkan nilai slump, sehingga mempermudah proses pengadukan. Namun, berat isi beton cenderung menurun seiring dengan penambahan Polynex HE. Kualitas beton menunjukkan peningkatan seiring dengan pengurangan jumlah air, dengan nilai kuat tekan maksimum tercapai pada pengurangan air sebesar 30%, yaitu 37,9 MPa pada usia beton 28 hari. Hasil ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton BP1-30% mengalami peningkatan sebesar 29,3% dibandingkan dengan beton normal.

Penelitian yang dilakukan Fanisa Eki G.P yang berjudul (2013) “*Pengaruh Sulfat Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Variasi Bubuk Kaca Substitusi Sebagian Pasir dengan w/c 0.6 dan 0.65*” menyimpulkan bahwa beton yang direndam dalam larutan sulfat memiliki kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan dengan beton yang menjalani proses curing menggunakan air biasa. Pada beton dengan rasio air-semen (w/c) sebesar 0,60, penurunan kuat tekan terbesar terjadi pada umur 28 hari, dengan rata-rata penurunan mencapai 8,325%. Sementara itu, pada beton dengan rasio air-semen (w/c) sebesar 0,65, penurunan kuat tekan terbesar juga tercatat pada umur 28 hari, dengan rata-rata penurunan sebesar 12,72%.

Penelitian oleh Andi Al Fitrah (2020) Berjudul “*Pengaruh Pengurangan Semen pada Beton SCC (Self Compacting Concrete) dengan Pemanfaatan Mikroba Bionic*” Menyimpulkan bahwa Hasil pengujian daya serap air menunjukkan beton SCC dengan pengurangan semen sebesar 10% memiliki nilai

daya serap air terendah, yaitu 5,80%. Sebaliknya, beton SCC dengan pengurangan semen lainnya menunjukkan nilai daya serap air yang lebih tinggi.

Penelitian oleh Y. Djoko Setiyarto dan Muhammad Haekal Akbar (2020) Berjudul “*Potensi Penggunaan Abu dan Kapur untuk Mengurangi Jumlah Semen dalam Campuran Beton*” hasil eksperimen menunjukkan bahwa campuran beton yang mengandung abu dan kapur padam sebanyak 10% dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 1,52%, yang menunjukkan bahwa abu dan kapur memiliki potensi untuk mengurangi penggunaan semen.

