

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Agregat halus dan kasar disebut sebagai bahan susun kasar campuran, merupakan komponen utama beton. Menurut SNI 2847-2013 beton merupakan campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Terkadang beberapa macam bahan tambahan dicampurkan ke dalam campuran tersebut dengan tujuan memperbaiki sifat-sifat dalam beton, yakni diantara lain meningkatkan *workability*, *durability*, serta waktu pengerasan beton (Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 2013).

Dalam keadaan yang mengeras, beton bagaikan batu karang dengan kekuatan tinggi. Dalam keadaan segar, beton dapat diberi bermacam bentuk sehingga dapat digunakan untuk membentuk seni arsitektur atau semata mata untuk tujuan dekoratif. Beton juga akan memberikan hasil akhir yang bagus jika pengolahan akhir dilakukan dengan cara khusus, umpamanya diekspos agregatnya (agregat yang mempunyai bentuk yang bertekstur seni tinggi diletakkan di bagian luar, sehingga nampak jelas pada permukaan betonnya). Selain tahan terhadap serangan api, beton juga tahan terhadap serangan korosi.

Sifat-sifat dan karakteristik dari material penyusun beton sangat mempengaruhi kinerja dari beton yang dibuat. Kinerja dari beton tersebut akan berdampak pada kekuatan yang diinginkan, kemudahan dalam pengerjaannya dan keawetannya dalam jangka waktu tertentu. Sebagai material komposit, ada 3 sistem umum yang melibatkan semen, yaitu pasta semen, mortar dan beton (Nugraha, 2007).

Beton memiliki sifat kuat tekan yang cenderung beragam dan menyebar pada suatu nilai rata-rata tertentu. Nilai kuat tekan ini bergantung pada tingkat kesempurnaan dari proses pelaksanaan seperti kualitas bahan, pengadukan, pemadatan, stabilitas pekerja dan sebagainya. Karena adanya variasi nilai inilah

yang diperlukan pengendalian terhadap mutu beton agar hasilnya dapat seragam dan memenuhi standar. Mutu beton adalah istilah yang didasarkan pada kuat tekan beton. Semakin besar nilai kuat tekan, maka semakin baik mutu beton pada saat beton berumur 28 hari. Mutu beton yang digunakan dalam spesifikasi ini dapat dibagi sebagai berikut pada Tabel 2.1 (Tjokrodimuljo, 2007).

Tabel 2.1 Mutu Beton dan Penggunaan

| Jenis Beton | $f'c$ (MPa) | Uraian |
|--------------------|-------------------------------|---|
| Mutu tinggi | $f'c \geq 45$ | Umumnya digunakan untuk beton pratekan seperti tiang pancang beton pratekan, gelagar beton pratekan, pelat beton pratekan, diafragma pratekan, dan sejenisnya |
| Mutu sedang | $20 \leq f'c < 45$ | Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma non pratekan, kereb beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan, perkerasan beton semen. |
| Mutu rendah | $15 \leq f'c < 20$ | Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop dan trotoar. |
| | $f'c < 15$ | Digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton. |

Menurut Mulyono (Mulyono, 2019), secara umum beton dibedakan kedalam 2 kelompok, yaitu:

1. Beton berdasarkan kelas dan mutu beton.

Kelas dan mutu beton ini dibedakan menjadi 3 kelas, yaitu:

- a) Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan non struktural. Untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Pengawasan mutu hanya

dibatasi pada pengawasan ringan terhadap mutu bahan-bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan.

- b) Beton kelas II adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural secara umum. Pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan dibawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Beton kelas II dibagi dalam mutu-mutu standar yaitu K-125, K-175, K-225. Pada mutu ini pengawasan hanya dibatasi pada pengawasan terhadap mutu bahan-bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan.
 - c) Beton kelas III adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural yang lebih tinggi dari K-225. Pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan dibawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Disyaratkan adanya laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap serta dilayani oleh tenaga-tenaga ahli yang dapat melakukan pengawasan mutu beton secara kontinu.
2. Beton berdasarkan jenisnya, dibagi menjadi 4 jenis, yaitu:
- a. Beton ringan
Beton ringan memiliki beton yang dibuat dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan bobot beton normal, berat jenisnya kurang dari 1.900 kg/m^3 . Beton ringan digunakan untuk elemen non-struktural. Beton ringan dibuat dengan cara membuat gelembung udara dalam adukan semen dan menggunakan agregat ringan (tanah liat bakar/batu apung) atau pembuatan beton non-pasir.
 - b. Beton normal
Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat pasir sebagai agregat halus dan split sebagai agregat kasar sehingga memiliki berat jenis antara $2.200 - 2.500 \text{ kg/m}^3$. Beton normal digunakan hampir pada setiap elemen struktur bangunan.
 - c. Beton berat
Beton berat merupakan beton yang dihasilkan dari agregat yang memiliki berat lebih besar dari beton normal atau memiliki berat jenis lebih dari 2.500 kg/m^3 . Beton berat digunakan untuk struktur tertentu, seperti struktur yang harus tahan terhadap radiasi atom.
 - d. Beton jenis lain

Beton jenis lain merupakan beton yang digunakan untuk struktur yang memiliki persyaratan khusus, seperti beton massa, beton serap, beton siklop, beton hampa, dan lain-lain.

2.2 Sifat Beton Segar

Persyaratan utama campuran beton agar dapat dikatakan mempunyai sifat baik yaitu mampu memberikan kemudahan pengerjaan, yaitu bila campuran tersebut tetap bertahan seragam ketika berlangsung proses pengangkutan, pengecoran, dan pemadatan. Dalam pengerjaan beton segar, tiga sifat penting yang harus diperhatikan adalah kemudahan pengerjaan (*workability*), pemisahan kerikil (*segregasi*), dan pemisahan air (*bleeding*) (Nugraha, 2007).

2.2.1 Kemudahan Pengerjaan/Workabilitas (*Workability*)

Tingkat kemudahan (*workability*) merupakan ukuran dari tingkat kemudahan campuran untuk diaduk, diangkut, dituang, dan dipadatkan tanpa menimbulkan pemisahan bahan susunan pembentuk beton. Walaupun suatu struktur beton dirancang mempunyai kuat tekan yang tinggi, tetapi jika rancangan tersebut tidak dapat diterapkan di lapangan karena sulit dikerjakan, maka tujuan memperoleh kuat tekan yang tinggi tersebut tidak akan tercapai. Tingkat kemudahan ini berkaitan dengan keenceran adukan beton. Makin cair adukan beton, maka makin mudah untuk dikerjakan. Untuk mengukur tingkat keenceran beton, maka dilakukan pengujian *slump* (*slump test*) menggunakan alat Kerucut Abrahams. *Slump test* bermanfaat untuk mengamati variasi keseragaman campuran. Pengujian *slump* dilakukan untuk mencatat konsistensi dalam satuan mm penurunan benda uji beton selama pengujian. Sesungguhnya istilah workabilitas sulit untuk didefinisikan dengan tepat, tetapi campuran beton bisa dikatakan mudah dikerjakan jika mempunyai sekurang-kurangnya tiga sifat utama sebagai berikut:

1. Kompaktibilitas, yaitu beton dapat dipadatkan sehingga rongga-rongga udaranya menjadi hilang atau berkurang.
2. Mobilitas, yaitu beton dapat mengalir kedalam cetakan beton.
3. Stabilitas, yaitu kemampuan beton untuk tetap menjaga sebagai massa yang homogen, koheren, dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi pemisahan butiran dari bahan utamanya.

Kemudahan pengerjaan dapat dilihat dari konsistensi adukan beton yang identik dengan tingkat keplastisan adukan beton. Semakin plastis beton, semakin mudah pengerjaannya. Adapun konsistensi adukan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut, diantaranya:

1. Jumlah air pencampur

Semakin banyak air, adukan beton akan lebih mudah untuk dikerjakan.

2. Kandungan semen

Jika perbandingan air dan semen tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air, sehingga keplastisannya juga akan lebih tinggi.

3. Gradasi agregat

Agregat yang memenuhi syarat gradasi akan memberi kemudahan pengerjaan beton

4. Bentuk butiran agregat

Beton yang menggunakan agregat bentuk bulat akan lebih mudah dikerjakan.

5. Butiran maksimum agregat

Pada penggunaan jumlah air yang sama, butiran maksimum agregat yang lebih besar akan menghasilkan kemudahan yang lebih tinggi.

6. Cara pemadatan dan alat pemadatan

Cara menggunakan alat pemadat dengan benar akan berpengaruh terhadap kondisi terakhir beton basah. Setelah selesai pemadatan, akan memungkinkan tercapainya target mutu beton keras.

2.2.2 Pemisahan Kerikil (*Segregasi*)

Segregasi adalah kecenderungan pemisahan bahan-bahan pembentuk beton karena penuangan dan pemadatan yang tidak baik. Bentuk *segregasi* beton merupakan proses penurunan partikel yang lebih kasar ke bagian bawah beton untuk memisahkan diri dari partikel yang lebih halus dan terpisahnya air semen dari adukan. Hal ini akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton. Faktor penyebab segregasi dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu kurang semen, kurang atau kelebihan air pada campuran, kurangnya jumlah agregat halus, ukuran agregat maksimum > 40 mm, dan kekasaran permukaan butir agregat. Kecenderungan terjadinya *segregasi* dapat dicegah jika tinggi jatuh dibatasi, penggunaan air sesuai

dengan yang telah ditetapkan, ukuran agregat sesuai dengan yang telah ditetapkan, dan pemadatan yang baik sesuai aturan.

2.2.3 Pemisahan Air (*Bleeding*)

Bleeding adalah peristiwa pemisahan naiknya air ke permukaan beton setelah dilakukan pemadatan. Air yang naik ini membawa semen dan butir-butir halus pasir yang pada saat beton mengeras akan membentuk selaput yang tidak berguna. Peristiwa ini terjadi pada campuran yang terlalu banyak air, susunan butir agregat, kecepatan hidrasi, dan pada saat proses pemadatan. Terjadinya *bleeding* dimungkinkan oleh faktor gradasi agregat yang kurang baik, terlalu banyak air, proses hidrasi yang lambat, dan pemadatan yang berlebihan. Untuk mengurangi terjadinya *bleeding* dapat dilakukan dengan cara menggunakan semen lebih banyak, menggunakan sedikit mungkin air, menggunakan butir halus lebih banyak, dan memasukkan sedikit udara ke dalam beton.

2.3 Sifat Beton Keras

Sifat-sifat beton yang mengeras memiliki arti yang penting selama masa pemakaiannya. Perilaku mekanik beton keras merupakan kemampuan beton di dalam memikul beban pada struktur bangunan. Kinerja beton keras yang bermutu baik ditunjukkan oleh kuat tekan beton yang tinggi, kuat tarik yang lebih baik, kekedapan air dan udara, ketahanan terhadap sulfat dan klorida, penyusutan rendah dan keawetan jangka panjang.

Setelah beton mengeras atau berhentinya proses hidrasi, maka terbentuklah suatu benda padat dan keras dengan sifat-sifat tertentu. Sifat tersebut perlu diketahui untuk dapat digunakan dalam perencanaan atau untuk mengevaluasi kekuatan suatu struktur atau untuk menentukan metode penanganan masalah. Selain kekuatan, sifat-sifat lain yang perlu diperhatikan setelah beton mengeras adalah tahan lama (*durability*), kekedapan (*impermeability*), dan kekuatan (*strength*).

2.3.1 Tahan Lama (*Durability*)

Durabilitas adalah ketahanan beton menghadapi segala kondisi yang direncanakan tanpa mengalami kerusakan selama jangka waktu layannya. Sifat ini merupakan sifat tahan terhadap perkaratan atau pembusukan oleh kondisi

lingkungan. Beton yang demikian disebut dengan beton yang mempunyai ketahanan yang baik. Sifat tahan lama beton dibedakan dalam beberapa hal yaitu:

1. Tahan terhadap cuaca, ialah pengaruh dari kejadian cuaca seperti hujan dan pengaruh suhu ketika terjadi pada musim panas ataupun musim dingin. Karena jika hal itu terjadi akan mengakibatkan pengembangan dan penyusutan pada beton.
2. Tahan terhadap zat kimia, seperti air laut, air limbah, zat kimia industri serta buangan air kotor yang dapat mempengaruhi keawetan beton.
3. Tahan terhadap erosi, beton juga dapat mengalami pengikisan. Hal ini diakibatkan karena adanya pergerakan orang atau lalu lintas di atasnya, gerakan ombak laut atau partikel yang terbawa oleh air laut atau angin laut.

2.3.2 Kekedapan (*Impermeability*)

Beton biasanya mempunyai rongga-rongga yang diakibatkan oleh adanya gelembung udara yang terbentuk selama atau sesudah pencetakan selesai atau ruangan yang saat pengerjaan mengandung air yang tidak tercampur sempurna dengan semen. Air tentunya akan mengalami penguapan apabila suhu di sekitarnya meningkat dan akan mengakibatkan terbentuknya rongga udara dalam beton. Rongga udara ini merupakan tempat untuk masuk dan keluarnya air dalam beton.

2.3.3 Kekuatan (*Strength*)

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kekuatan beton terutama dipengaruhi oleh banyaknya faktor air dan semen yang digunakan. Nilai kuat tekan beton semakin meningkat sejalan dengan peningkatan pada umurnya. Beton sudah memiliki kekuatan maksimum pada umur 28 hari. Beton harus dirancang proporsi campurannya agar menghasilkan suatu kuat tekan rata-rata yang disyaratkan. Besarnya variasi kekuatan contoh uji beton biasanya tergantung pada faktor air semen, umur beton, sifat agregat, mutu material, pembuatan dan kontrol dalam pengujian.

2.4 Kelebihan dan Kekurangan Beton

Dalam keadaan yang mengeras, beton bagaikan batu karang dengan kekuatan tinggi. Dalam keadaan segar, beton dapat diberi bermacam bentuk, sehingga dapat digunakan untuk membentuk seni arsitektur atau semata-mata untuk tujuan

dekoratif. Beton juga akan memberikan hasil akhir yang bagus jika pengolahan diakhir dilakukan dengan cara khusus. Selain tahan terhadap serangan api, beton juga tahan terhadap serangan korosi. Menurut Mulyono (Mulyono, 2019), secara umum kelebihan dan kekurangan beton adalah:

2.4.1 Kelebihan Beton

Dari pemakaiannya yang begitu luas, struktur beton mempunyai banyak keunggulan dibandingkan material struktur lain, diantaranya:

1. Ketersediaan (*availability*) material dasar

Agregat dan air pada umumnya bisa didapat dari lokasi setempat. Semen juga pada umumnya dapat dibuat di daerah setempat, bila tersedia. Dengan demikian, biaya pembuatan relatif lebih murah karena semua bahan bisa didapatkan di dalam negeri, bahkan bisa di daerah setempat. Tidak demikian dengan halnya dengan struktur baja, karena harus dibuat di pabrik atau bahkan harus impor dari luar negeri. Pengangkutan juga menjadi masalah bila proyek berada di tempat yang sulit untuk dijangkau, sementara beton akan lebih mudah karena masing-masing material bisa diangkut sendiri. Begitupun dengan kayu, meskipun masalahnya tidak seberat struktur baja, namun penggunaannya secara massal akan menyebabkan masalah pada lingkungan yaitu sebagai penyebab kerusakan hutan.

2. Kemudahan untuk digunakan (*versatility*)

Beton bisa digunakan untuk berbagai struktur seperti, bendungan, pondasi, jalan, landasan banda udara, pipa, perlindungan dari radiasi, insulator panas, dan lain-lain. Beton ringan juga bisa digunakan untuk blok dan panel. Selain itu, beton bertulang dapat digunakan untuk berbagai struktur lebih berat, seperti jembatan, gedung, tandon air, bangunan maritim, instalasi militer dengan beban kejut besar, landasan pacu pesawat terbang, kapal, dan sebagainya.

3. Kemampuan beradaptasi (*adaptability*)

Beton dapat dicetak dengan bentuk dan ukuran berapapun, misalnya pada struktur cangkang (*Shell*) maupun bentuk-bentuk khusus 3 dimensi. Beton juga dapat diproduksi dengan berbagai cara yang disesuaikan dengan situasi sekitar. Dari cara sederhana yang tidak memerlukan ahli khusus (kecuali beberapa

pengawa yang sudah mempelajari teknologi beton), sampai alat modern di pabrik yang serba otomatis dan terkomputerisasi. Namun, metode produksi modern memungkinkan industri beton yang profesional.

4. Mampu memikul beban yang berat.
5. Tahan terhadap temperatur yang tinggi.
6. Biaya pemeliharaan yang kecil.

2.4.2 Kekurangan Beton dan Cara Mengatasinya

Disamping segala keunggulan diatas, beton sebagai struktur juga mempunyai beberapa kekurangan yang perlu dipertimbangkan, antara lain:

1. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah dan dipindahkan. Pemakaian kembali atau daur ulang beton sangat sulit dan tidak ekonomis.
2. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian dan pengawasan yang tinggi karena kualitasnya sangat tergantung cara pelaksanaan di lapangan.
3. Berat beton yang besar.
4. Daya pantul suara yang besar
5. Kekuatan tariknya rendah, meskipun kekuatan tekanannya besar.
6. Beton cenderung untuk retak, karena semennya hidraulis.

Kelemahan-kelemahan beton yang telah diuraikan di atas dapat diatasi dengan berbagai cara. Berikut adalah cara yang dapat digunakan untuk mengatasi hal tersebut yaitu :

1. Menggunakan beton bertulang atau beton pratekan untuk memperoleh kuat tarik yang lebih tinggi.
2. Melakukan perawatan (*curing*) yang baik untuk mencegah terjadinya keretakan, memakai beton pratekan, atau memakai bahan tambahan yang mengembang (*expansive admixture*).
3. Beberapa elemen struktur dibuat pracetak (*precast*) sehingga dapat dilepas per elemen seperti baja. Kemungkinan untuk melakukan beton *recycle* (daur ulang) sedang dioptimalkan.
4. Mempelajari teknologi beton, melakukan pengawasan dan control kualitas yang baik. Bila perlu bisa memakai beton jadi (*ready mix*) atau beton pracetak.

2.5 Sifat dan Karakteristik Campuran Beton

Sifat dan karakteristik campuran beton segar secara tidak langsung akan mempengaruhi beton yang telah mengeras. Pasta semen tidak bersifat elastis sempurna tetapi *viscoelastic-solid*. Gaya gesek dalam, susut dan tegangan yang terjadi biasanya tergantung dari energi pemadatan dan tindakan *preventif* terhadap perhatiannya pada tegangan dalam beton. Hal ini tergantung dari jumlah dan distribusi air, kekentalan aliran gel (pasta semen) dan penanganan pada saat sebelum terjadi tegangan serta *kristalin* yang terjadi untuk pembentukan porinya.

2.5.1 Sifat dan Karakteristik Bahan Penyusun

Selain kekuatan pasta semen, hal lain yang perlu menjadi perhatian adalah agregat. Karena proporsi campuran agregat dalam beton adalah 70-80%, sehingga pengaruh agregat akan menjadi besar, baik dari sisi ekonomi maupun dari sisi teknik, semakin baik mutu agregat yang digunakan, secara linier dan tidak langsung akan menyebabkan mutu beton menjadi baik, begitu juga sebaliknya.

2.5.2 Metode Pencampuran

a. Penetapan Proporsi Bahan (*Mix Design*)

Proporsi campuran dari bahan-bahan penyusun beton ini ditentukan melalui perancangan beton (*mix design*). Hal ini dimaksudkan agar proporsi dari campuran dapat memenuhi syarat kekuatan serta dapat memenuhi aspek ekonomi. Metode perancangan ini pada umumnya menentukan komposisi dari bahan-bahan penyusun beton untuk kinerja tertentu yang diharapkan. penentuan proporsi campuran dapat digunakan untuk beberapa metode yang dikenal, antara lain :

1. *Metode American Concrete Institute,*
2. *Portland Cement Association,*
3. *Road Note No.4*
4. *British Standard,*
5. *Departement of Engineering,*
6. Departemen Pekerjaan Umum dan
7. Cara Coba-coba.

b. Pengecoran (*placing*)

Metode pengecoran akan mempengaruhi kekuatan beton. Jika syarat-syarat pengecoran tidak terpenuhi, kemungkinan besar kekuatan tekan yang direncanakan tidak akan tercapai.

c. Pemasatan (*Vibrating*)

Pemasatan yang tidak baik akan menyebabkan menurunnya kekuatan beton, karena terjadinya pencampuran bahan yang homogen. Pemasatan yang berlebih pun akan menyebabkan terjadinya *bleeding*.

2.5.3 Perawatan (*Curing*)

Perawatan dimaksudkan untuk menghindari panas hidrasi yang tidak diinginkan, terutama disebabkan oleh suhu. Cara dan bahan serta alat yang digunakan untuk perawatan akan menentukan sifat dari beton keras yang dibuat, terutama dari sisi kekuatannya. Waktu-waktu yang dibutuhkan untuk merawat beton pun harus terjadwal dengan baik.

2.5.4 Kondisi Saat Pengerjaan Pengecoran

Kondisi pada saat pekerjaan pengecoran akan mempengaruhi kualitas beton yang dibuat. Faktor-faktor tersebut antara lain: (1). Bentuk dan ukuran contoh, (2). Kadar air, (3). Suhu contoh, (4). Keadaan permukaan landasan dan (5). Cara pembebanan.

2.6 Bahan Penyusun Beton

Pada umumnya beton tersusun dari tiga bahan penyusun utama yaitu agregat halus dan kasar dengan semen dan air sebagai pengikatnya. Jika diperlukan, bahan tambah (*admixture*) dapat ditambahkan untuk mengubah sifat-sifat tertentu dari beton yang bersangkutan. Perlu memilih bahan-bahan yang sesuai untuk dicampur dan digunakan untuk menghasilkan beton dengan sifat-sifat khusus yang diinginkan untuk tujuan tertentu dengan cara yang paling ekonomis. Pemilihan dari bahan dan cara konstruksi tidak mudah dikerjakan, karena terdapat variasi yang mempengaruhi kualitas dari beton yang dihasilkan, dalam hal ini kualitas dan faktor ekonomi.

2.6.1 Semen *Portland*

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI 2049-2015).

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10 %, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting.

Semen *Portland* diproduksi untuk pertama kalinya pada tahun 1824 oleh Joseph Aspdin, dengan memanaskan suatu campuran tanah liat yang dihaluskan dengan batu kapur atau kapur tulis dalam suatu dapur sehingga mencapai suatu suhu yang cukup tinggi untuk menghilangkan gas asam karbon. Sifat-sifat semen *Portland* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

2.6.1.1 Sifat Kimia Semen *Portland*

Semen *Portland* memiliki beberapa senyawa kimia yang masing-masing memiliki sifat sendiri-sendiri. Sifat kimia semen meliputi kesegaran semen, sisa yang tak larut, panas hidrasi semen, kekuatan pasta semen dan faktor air semen, Empat senyawa kimia yang utama dari semen *Portland* antara lain Trikalsium Silikat, Dikalsium Silikat, Trikalsium Aluminat, dan Tetrakalsium Aliminoferrit. Secara garis besar, ada empat senyawa kimia utama yang menyusun semen *Portland*.

Senyawa tersebut menjadi kristal-kristal yang saling mengikat dan mengunci ketika menjadi klinker. Komposisi Trikalsium Silikat dan Dikalsium Silikat adalah 70% - 80% dari berat semen dan merupakan bagian yang dominan memberikan sifat semen. Semen dan air saling bereaksi. Persenyawaan ini dinamakan proses hidrasi dan hasilnya dinamakan hidrasi semen. Senyawa Trikalsium Silikat jika terkena air akan cepat bereaksi dan menghasilkan panas. Panas tersebut akan mempengaruhi kecepatan mengeras sebelum hari ke-14.

Prinsip dasar pemilihan semen yang akan digunakan sebagai bahan campuran beton yang tahan terhadap serangan sulfat adalah berapa banyak kandungan senyawa trikalsium silikatnya. Semen yang tahan sulfat harus memiliki kandungan trikalsium silikat tidak lebih dari 5%. Semen yang kandungan trikalsium silikatnya tinggi, jika terkena sulfat yang terdapat pada air atau tanah akan mengembang sehingga mengakibatkan retak-retak pada beton.

2.6.1.2 Sifat Fisika Semen *Portland*

Sifat-sifat fisika semen portland meliputi kehalusan butir, berat jenis dan berat isi, waktu pengikatan palsu, kekekalan bentuk, kekuatan semen.

a. Kehalusan Butir (*Fineness/Blaine*)

Kehalusan butir semen akan mempengaruhi proses hidrasi. Semakin halus butiran semen maka luas permukaan butir untuk suatu jumlah berat semen tertentu menjadi lebih besar sehingga jumlah air yang dibutuhkan juga banyak. Semakin halus butiran semen maka proses hidrasinya semakin cepat sehingga semen mempunyai kekuatan awal tinggi. Selain itu, butiran semen yang halus akan mengurangi *bleeding*, tetapi semen cenderung terjadi penyusutan yang besar dan mempermudah terjadinya retak susut pada beton. Tingkat kehalusan semen diuji dengan alat *Blaine*.

b. Berat Jenis dan Berat Isi

Berat jenis semen berkisar antara 3,10-3,30 gram/cm³ dengan berat jenis rata-rata sebesar 3,15 gram/cm³. Berat jenis semen penting untuk diketahui karena dengan mengetahui berat jenis akan dapat dilihat kualitas semen tersebut. Semen yang mempunyai berat jenis < 3,0 biasanya pembakarannya kurang sempurna atau tercampur dengan bahan atau sebagian semen telah mengeras, ini berarti kualitas semen turun.

c. Waktu Pengikatan

Waktu ikat adalah waktu yang dibutuhkan semen untuk mengeras mulai semen bereaksi dengan air sampai pasta semen mengeras dan cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu ikat semen ada 2, yaitu waktu ikat awal dan waktu ikat akhir. Waktu ikat awal adalah waktu dari pencampuran semen dengan air sampai pasta semen hilang sifat keplastiasannya. Waktu ikat awal semen berkisar antara 1- 2 jam tetapi tidak boleh kurang dari 1 jam atau lebih dari 8

jam. Sedangkan waktu ikat akhir adalah waktu antara terbentuknya pasta semen sampai beton mengeras. Untuk tujuan-tujuan tertentu kadang dibutuhkan waktu *initial setting time* lebih dari 2 jam. Biasanya waktu yang lebih lama ini digunakan untuk pengangkutan beton (transportasi), penuangan, pemadatan, dan *finishing*.

d. Kekekalan Bentuk

Kekekalan bentuk adalah sifat dari pasta semen yang telah mengeras, dimana bila pasta tersebut dibuat bentuk tertentu, bentuk itu tidak berubah. Ketidak kekalan semen disebabkan oleh jumlah kapur bebas yang berlebihan dan magnesia yang terdapat pada semen. Alat yang digunakan untuk menguji sifat kekekalan semen adalah *Autoclave Expansion of Portland Cement* (ASTM C151-2005)

e. Kekuatan Semen

Kuat tekan semen sangat penting karena akan sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton. Kekuatan semen ini merupakan gambaran kemampuan semen dalam melakukan pengikatan daya rekatnya sebagai bahan pengikat.

f. Pengikat Awal Palsu

Pengikat awal yaitu pengikatan semen yang terjadi kurang dari 60 menit saat setelah semen dicampur dengan air dan adonan menjadi kaku. Setelah pengikatan awal palsu ini berkahir, adonan tidak dapat diaduk kembali. Pengikatan awal palsu terjadi karena pengaruh gips pada semen tidak bekerja sebagaimana semestinya. Seharusnya fungsi gips pada semen adalah memperlambat pengikatan, tetapi karena gips yang terdapat dalam semen terurai, maka gips ini justru mempercepat pengikatan awalnya.

2.6.1.3 Klasifikasi Semen *Portland*

Menurut ASTM (American Standard for Testing Material), membagi semen *Portland* menjadi 5 jenis, diantaranya:

1. Tipe I (*ordinary Portland Cement*), semen *Portland* yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti tipe-tipe semen lainnya.
2. Tipe II (*modified cement*), semen *Portland* yang dalam penggunaannya untuk beton yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

3. Tipe III (*Rapid-hardening Portland cement*), semen *Portland* yang dalam penggunaannya untuk beton yang memerlukan kekuatan awal yang tinggi.
4. Tipe IV (*Low-heat Portland cement*), semen *Portland* yang dalam penggunaannya untuk beton yang memerlukan panas hidrasi yang rendah.
5. Tipe V (*Sulphate-resisting cement*), semen *Portland* yang memiliki sifat ketahanan terhadap sulfat kadar tinggi.

2.6.2 Agregat

Agregat adalah bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, slag tanur (*blast-furnace slag*) yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis (Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 2013). Kandungan agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya. Pada beton, biasanya komposisi agregat terdapat sekitar 60% sampai 80% dari berat campuran beton. Sisanya ditempati oleh pasta semen, air yang tersisa dari reaksi hidrasi serta rongga udara. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar, agregat menjadi sangat penting. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat berukuran besar.

Sifat yang paling penting dari suatu agregat ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan. Agregat yang digunakan dalam campuran beton harus bersih, keras, bebas dari sifat penyerapan secara kimia, tidak bercampur dengan tanah liat/lumpur dan distribusi/gradasi ukuran agregat memenuhi ketentuan yang berlaku.

Gradasi yang baik dan teratur (*continous*) dari agregat halus kemungkinan akan menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan tinggi. Gradasi yang baik adalah gradasi yang memenuhi syarat zona tertentu dan agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos pada satu set ayakan lebih besar dari 45 % dan tertahan pada ayakan berikutnya. Kebersihan agregat juga akan mempengaruhi dari

mutu beton yang akan dibuat terutama dari zat-zat yang dapat merusak baik pada saat beton muda maupun beton sudah mengeras.

Hal-hal yang perlu diperhatikan berkaitan dengan penggunaan agregat dalam campuran beton ada lima, yaitu:

- a. Volume udara. Udara yang terdapat dalam campuran beton akan mempengaruhi proses pembuatan beton, terutama setelah terbentuknya pasta semen.
- b. Volume padat. Kepadatan volume agregat akan mempengaruhi berat isi dari beton tadi.
- c. Berat jenis agregat. Berat jenis agregat akan mempengaruhi proporsi campuran dalam berat sebagai kontrol.
- d. Penyerapan. Penyerapan berpengaruh pada berat jenis.
- e. Kadar air permukaan agregat. Kadar air permukaan agregat berpengaruh pada penggunaan air saat pencampuran.

Pada umumnya agregat digolongkan dalam tiga kelompok, yaitu :

- a. Batu, untuk butiran lebih dari 40 mm.
- b. Kerikil, untuk butiran antara 5 mm dan 40 mm.
- c. Pasir, untuk butiran antara 0,15 mm dan 5 mm.

Sifat agregat sangat berpengaruh pada mutu campuran beton. Untuk menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan seperti yang diinginkan, sifat-sifat ini harus diketahui agar kita dapat mengambil tindakan yang benar dalam mengatasi masalah yang timbul. Sifat-sifat tersebut:

1. Serapan air dan kadar air agregat,
2. Berat jenis dan daya serap agregat,
3. Gradasi agregat,
4. Modulus halus butir,
5. Ketahanan kimia,
6. Kekekalan,
7. Perubahan volume,
8. Karakteristik panas (sifat thermal agregat), dan
9. Bahan yang mengganggu.

Ukuran agregat dapat mempengaruhi kekuatan tekan beton. Untuk perbandingan bahan-bahan campuran tertentu, kekuatan tekan beton berkurang bila

ukuran maksimum bertambah besar, dan juga akan menambah kesulitan dalam pengerjaannya. Ukuran dan bentuknya harus disesuaikan dengan syarat yang diberikan ASTM, BS, ataupun SNI atau SSI. Berdasarkan ukuran butir agregat dibedakan menjadi 2 yaitu agregat kasar dan halus.

Agregat alam secara umum dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat yang dapat melalui saringan no. 4 (4,75 mm) dapat di klasifikasikan sebagai agregat halus. Sedangkan agregat yang tertahan di saringan no.4 diklasifikasikan sebagai agregat kasar.apabila dalam suatu campuran beton dikehendaki agregat dengan kombinasi tertentu, maka agregat dapat disaring dengan menggunakan suatu set alat saring agregat.

2.6.2.1 Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5 mm. (SNI 03-2834-2000).

Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir dengan ukuran yang bervariasi. Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih halus, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton. Variasi ukuran dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik, yang sesuai dengan standar analisis saringan. Untuk beton penahan radiasi, serbuk baja halus dan serbuk besi pecah digunakan sebagai agregat halus.

ASTM C.33- 1997 “*Standard Spesification for Concrete Anggregates*” memberikan syarat gradasi agregat halus seperti yang tercantum dalam Tabel 2.3 (Mulyono, 2019).

Tabel 2.2 Persyaratan Gradasi Agregat Halus

| Ukuran Lubang Ayakan (mm) | Persen Lolos Kumulatif |
|---------------------------|------------------------|
| 9,5 | 100 |
| 4,75 | 95-100 |
| 2,36 | 80-100 |
| 1,18 | 50-85 |
| 0,6 | 25-60 |
| 0,3 | 10-30 |
| 0,15 | 2-10 |

2.6.2.2 Agregat kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm (Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 2000)

Agregat kasar yaitu agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar dan semua ukuran butiran lebih besar dari 4,75 mm (saringan No.4). Sifat kasar agregat mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya. Jenis agregat kasar yang umum adalah:

a. Batu pecah alami

Bahan ini didapat dari cadas atau batu pecah alami yang digali. Batu ini dapat berasal dari gunung api, jenis sedimen atau jenis *metamorf*. Meskipun dapat menghasilkan kekuatan yang tinggi terhadap beton, batu pecah kurang memberikan kemudahan pengerjaan dan pengecoran dibandingkan dengan jenis agregat kasar lainnya.

b. Kerikil alami

Kerikil didapat dari proses alami yaitu dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir. Kerikil memberikan kekuatan yang lebih rendah daripada batu pecah, tetapi memberikan kemudahan pengerjaan yang lebih tinggi.

c. Agregat kasar buatan.

Terutama berupa *slag* atau *shale* yang biasa digunakan untuk beton berbobot ringan. Biasanya merupakan hasil dari proses lain dari proses *blast-furnace* dan lain-lain.

d. Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat.

Dengan adanya tuntutan yang spesifik pada zaman atom sekarang ini, juga untuk pelindung dari radiasi nuklir sebagai akibat dari semakin banyaknya pembangkit atom dan stasiun tenaga nuklir, maka perlu ada beton yang dapat melindungi dari sinar x, sinar *gamma*, dan *neutron*. Sifat beton penahan radiasi yang berat ini bergantung pada kerapatan dan kepadatannya, hampir tidak bergantung pada sektor aor semennya. Agregat yang diklasifikasikan disini misalnya baja pecah, barit, magnetit, dan limonit.

Sifat-sifat agregat kasar juga mempengaruhi lekatan antara agregat, mortar dan kebutuhan air pencampur. Agregat yang memiliki ukuran butir yang lebih kecil memiliki potensial untuk menghasilkan beton yang memiliki kekuatan yang tinggi.

Menurut British Standard (B.S), gradasi agregat kasar (kerikil/batu pecah) yang baik sebaiknya masuk dalam batas, batas yang tercantum dalam Tabel 2.4 (Mulyono, 2019)

Tabel 2.3 Syarat agregat kasar menurut *British Standard*

| Lubang | Persen Butir lewat ayakan, besar butir maks | | |
|--------|---|----------|----------|
| | Ayakan (mm) | 40 mm | 20 mm |
| 40 | 95 – 100 | 100 | 100 |
| 20 | 30 – 70 | 95 – 100 | 100 |
| 12.5 | - | - | 90 – 100 |
| 10 | 10 – 35 | 25 – 55 | 40 - 85 |
| 4.8 | 0 – 5 | 0 – 10 | 0 – 10 |

2.6.3 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen agar bisa berfungsi sebagai bahan pengikat. Serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mempermudah pencampuran agregat dan semen serta mempermudah pelaksanaan pengecoran beton dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25% berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit kurang dari 0,35. Kelebihan air ini yang dipakai sebagai pelumas. Tetapi tambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan rendah serta betonnya porous.

Air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton (tetapi tidak berarti air pencampur beton harus memenuhi standar persyaratan air minum). Secara umum, air yang dapat dipakai untuk bahan pencampur beton ialah air yang bila dipakai akan dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang memakai air suling.

Dalam pemakaian air untuk beton itu sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Harus bersih, tidak boleh mengandung minyak asam, alkali dan zat organik atau bahan lain yang dapat merusak beton.
2. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
4. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Untuk air perawatan, dapat dipakai juga air yang dipakai untuk pengadukan. Tetapi harus yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan hingga tidak sedap dipandang. Besi dan zat organis dalam air umumnya sebagai bahan utama pengotoran atau perubahan warna, terutama jika perawatan cukup lama.

2.6.4 Abu Ampas Tebu

Abu ampas tebu adalah abu yang didapat dari hasil pembakaran ampas tebu yang dibakar sampai menjadi abu. Agar dapat dijadikan sebagai bahan substitusi semen abu tebu terlebih dahulu disaring menggunakan saringan 200. Ampas tebu atau baggase adalah limbah organik dari hasil banyaknya pengolahan tebu dari industri tebu yang ada di Indonesia, dan dari limbah penjual es tebu. Ampas tebu memiliki serat, yang mana serat ini mempunyai nilai ekonomis, mudah didapat, murah, tidak berbahaya bagi kesehatan serta mudah terurai secara alami. Ampas tebu masing kurang efisien dalam pemanfaatannya dalam industri pengolahan tebu yang ada yaitu dijadikan gula dan berbagai jenis minuman lainnya. Jumlah limbah ampas tebu yang dihasilkan rata – rata mencapai 90% dari setiapkali tebu itu diolah. Ampas tebu seringkali digunakan untuk bahan campuran sebagai pupuk tanaman, tapi pemakaiannya jauh kurang jika dibandingkan terhadap hasil dari limbahnya. Namun, dapat ditinjau kembali limbah organik dari ampas tebu mempunyai kandungan silika reaktif yang mana itu diharapkan bisa meningkatkan kekuatan dari beton. (Yudo & Jatmiko, 2008).

Hasil dari pengujian porositas untuk penelitian beton, abu ampas tebu dinyatakan mempunyai kandungan bahan silika, Adapun abu ampas tebu

terkandung didalamnya SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O , Na_2O , MgO dan P_2O_5 yang mana bisa dipakai sebagai bahan substitusi semen serta dapat berpengaruh meningkatkan dari kuat tekan beton sebab setiap butiran yang dimiliki sangat kecil dan dapat untuk mengisi setiap rongga yang ada pada beton.

2.7 Kekuatan Beton

Kekuatan beton merupakan sifat beton keras yang paling penting. Kekuatan beton ditentukan dengan cara menghitung berapa beban maksimum yang dapat dipikul oleh suatu penampang beton melalui pengujian benda uji yang mempunyai bentuk tertentu.

Dalam pembuatan beton selalu diperhatikan sifat-sifat dari beton yang diinginkan. Sifat utama dan umum yang dikehendaki adalah sifat mekanis beton. Hal ini mempengaruhi dalam perhitungan dan pembuatan campuran beton. Sifat-sifat mekanis beton dapat dikaitkan dengan dua kondisi, yakni beton masih baru atau encer disebut beton segar, dan beton dengan kondisi yang sudah mengeras disebut beton keras.

2.7.1 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan beton adalah kemampuan untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2019).

Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang biasa digunakan yaitu berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar adalah tinggi 30 mm, diameter 150 mm. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (f'_c) yang dipakai pada benda uji pada umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan. Kuat tekan beton dapat dicari dengan rumus:

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

Dimana:

(f'_c) = kuat tekan beton (MPa)

P = beban tekan maksimum (N)

A = luas penampang tertekan mm^2

Kuat tekan beton (normal) naik secara cepat sampai umur 28 hari. Seterusnya kenaikan kuat tekan berlangsung lambat dalam hitungan bulan atau tahun, sehingga pada umumnya kekuatan beton dipakai sebagai acuan pada umur 28 hari. Kuat tekan beton pada umur 7 hari sekitar 70% terhadap umur beton 28 hari, sedangkan kuat tekan beton pada umur 14 hari sekitar 80% terhadap beton umur 28 hari.

Bahan penyusun beton yang perlu mendapat perhatian adalah agregat karena agregat mencapai 70-80% volume beton. Oleh karena itu, kekuatan agregat sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton, maka hal-hal yang perlu diperhatikan pada agregat adalah permukaan dan bentuk agregat, gradasi agregat, dan ukuran maksimum agregat.

2.7.2 Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, selain oleh perbandingan air-semen dan tingkat kepadatannya. Faktor penting lainnya yaitu:

1. Jenis semen dan kualitasnya mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton.
2. Kekuatan dan kebersihan agregat yang digunakan dalam pencampuran beton.
3. Pencampuran yang tepat dari bahan pembentuk beton.
4. Ketepatan dalam pemadatan beton memiliki pengaruh yang signifikan pada kekuatan beton sebagai hasil akhir dari pengecoran.
5. Efisiensi dan perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan lapangan dan pembuatan benda uji. Kehilangan kekuatan sampai 40% dapat terjadi bila pengeringan diadakan sebelum waktunya. Hal ini dilakukan dengan menjaga kelembaban dan suhu yang sesuai agar beton terhidrasi dengan tepat sesuai dengan mutu yang diinginkan.
6. Umur, pada keadaan normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya. Kecepatan bertambahnya kekuatan tergantung pada jenis semen.

2.7.3 Jenis-Jenis Beton Berdasarkan Kuat Tekannya

Berdasarkan kuat tekannya, beton dibagi menjadi beberapa jenis, diantaranya:

1. Beton sederhana, dipakai untuk pembuatan bata beton atau bagian-bagian non-struktur, misalnya dinding bukan penahan beton.

2. Beton normal, dipakai untuk beton bertulang dan bagian-bagian struktur penahan beban. Namun untuk struktur yang berada di daerah gempa, kuat tekannya minimum 20 MPa. Misalnya, kolom, balok, dinding yang menahan beban, dan sebagainya.
3. Beton prategang, dipakai untuk balok prategang yaitu balok dengan baja tulangan dilentur dahulu sebelum diberi beban.
4. Beton kuat tekan tinggi dan sangat tinggi, dipakai pada struktur khusus, misalnya pada gedung bertingkat banyak.

Jenis-jenis beton berdasarkan kuat tekannya dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2.4 Jenis Beton Menurut Kuat Tekannya

| Jenis Beton | Kuat Tekan (MPa) |
|---|-------------------------|
| Beton sederhana (<i>plain concrete</i>) | Sampai 10 MPa |
| Beton normal | 10-30 MPa |
| Beton Prategang | 30-40 MPa |
| Beton kuat tekan tinggi | 40-80 MPa |
| Beton kuat tekan sangat tinggi | >80 MPa |

2.7.4 Kuat Tekan Beton Yang Maksimal

Kuat tekan beton yang maksimal adalah adalah campuran beton rencana yang menghasilkan kekuatan tertinggi diantara rencana campuran beton lainnya. Untuk mendapatkan campuran beton yang maksimal, dapat dihasilkan dengan cara:

- a. Material yang digunakan harus sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan oleh sni,
- b. Pencampuran bahan didasarkan atas Standar Pekerjaan Umum (SNI 03- 2834-2000),
- c. Pemeliharaan beton dilakukan dengan cara perendaman dengan umur rencana 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari.
- d. Pengujian beton dilakukan dengan alat *compression test*.

Dengan beberapa langkah diatas, diharapkan mendapatkan hasil uji yang maksimal berdasarkan campuran beton yang direncanakan.

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang berjudul “Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu Dan *Superplasticizer* Terhadap Kuat Tekan Beton” oleh Trisnawati dan Dwi Komalasari (2019). Penelitian ini sendiri bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan abu ampas tebu dan superplasticizer sikament NN terhadap kuat tekan beton, sehingga dapat diketahui berapa persentase ampas tebu yang optimum yang menghasilkan kuat tekan beton maksimal. Perencanaan campuran beton pada penelitian ini menggunakan metode uji coba dengan mengambil 5 variasi abu ampas tebu yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dari berat semen dan 3 variasi penambahan superplasticizer yaitu 0%, 1% , 1,5% dari berat semen. Pengujian kuat tekan beton sebanyak 60 benda uji dilakukan pada umur tersebut dari 28 hari. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kuat tekan maksimum terdapat pada abu ampas tebu 15% dan superplasticizer 1,5% dengan rata-rata kuat tekan sebesar 34,99 Mpa atau meningkat sebesar 17,79%. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan abu ampas tebu dan superplasticizer dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Penelitian yang berjudul ”Studi Eksperimental Penggunaan Abu Ampas Tebu dan Limbah Karbit sebagai Material Substitusi Semen pada Campuran Beton” oleh Rombe et al., (2023). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai dari pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur dengan bahan substitusi dari limbah karbit dan abu ampas tebu 0%, 4%, 8% dan 12%. Dalam pembuatan benda uji digunakan metode *American concrete institute* (ACI). Pengujian dilakukan pada saat umur beton telah melewati proses masa pemeliharaan 7, 21, dan 21 hari. Dari hasil penelitian ini didapat nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari dengan variasi limbah karbit 10% dan abu ampas tebu 0%, 4%, 8% dan 12% adalah 26,04 MPa, 16,04 MPa, 14,62 MPa dan 14,248. Hasil pengujian kuat tarik belah dengan variasi limbah 10% dan abu ampas tebu 0%, 4%, 8% dan 12% adalah 2,28 MPa, 1,77 MPa, 1,53 MPa dan 1,48 MPa. Hasil pengujian kuat lentur dengan variasi limbah 10% dan abu ampas tebu 0%, 4%, 8% dan 12% yaitu 3,03 MPa, 2,56, 2,41 dan 2,36. Hasil dari penelitian ini menunjukkan semakin tinggi penambahan limbah karbit dan abu ampas tebu maka akan semakin menurun kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat tarik lentur beton.

Penelitian yang berjudul “Pemanfaatan Kombinasi Limbah Abu Ampas Tebu dan Kulit Kerang Sebagai Substitusi Semen pada Campuran Beton Mutu K-225 dengan NaCl Sebagai Rendaman”. Oleh Putra, (2014). Tujuan dari penelitian ini adalah Bersamaan dengan meningkatnya skala pembangunan semakin besar kebutuhan beton di masa yang akan datang, dengan demikian kebutuhan akan bahan baku semen dan material campuran lainnya seperti agregat kasar, agregat halus, air serta bahan tambahan lainnya akan meningkat pula. Namun bahan baku yang selama ini diperoleh dari alam cenderung menurun akibat eksploitasi yang terus dilakukan. Oleh karena itu, banyak percobaan dilakukan untuk menemukan sumber alami alternatif sebagai substitusi dari agregat alam. Salah satunya dengan memanfaatkan limbah kulit kerang yang dihaluskan dan abu ampas tebu yang dapat menjadi alternatif sebagai substitusi semen. Dalam penelitian beton dengan campuran abu tebu dan abu kulit kerang direndam dalam larutan NaCl sebagai simulasi air laut. Dari 3 kombinasi yang digunakan hasil yang didapat adalah beton dengan kombinasi 8% abu tebu + 12% kulit kerang mendapatkan kuat tekan tertinggi yaitu 228.29 kg/cm^2 sedangkan beton normal hanya mencapai 206.89 kg/cm^2 . penurunan kuat tekan beton campuran terhadap beton normal yang terbesar terjadi pada beton dengan kombinasi campuran 12% AT+10% K pada umur 14 hari sebesar 19.88%, sedangkan untuk Kenaikan tertinggi terjadi pada beton dengan kombinasi 8% abu tebu+14% sebesar 8.48%.

Tabel 2.5 Persamaan dan Perbedaan Penelitian

| No | Nama | Judul | Persamaan | Perbedaan |
|----|----------------|---|--|--|
| 1. | Dwi Komalasari | Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu Dan <i>Superplasticizer</i> Terhadap Kuat Tekan Beton. | <ul style="list-style-type: none"> •Menggunakan salah satu bahan tambah dari bahan yang sama (abu ampas tebu) •Pengujian hanya meliputi uji kuat tekan | <ul style="list-style-type: none"> •Variasi persentase penambahan berbeda yaitu 5%, 10%, 15% dan 20% •Pengujian kuat tekan hanya pada umur 28 hari |

| No | Nama | Judul | Persamaan | Perbedaan |
|----|-------------------|--|---|--|
| 2. | Lisa Febrian | Studi Eksperimental Penggunaan Abu Ampas Tebu dan Limbah Karbit sebagai Material Subtitusi Semen pada Campuran Beton | •Menggunakan salah satu bahan tambah yang sama (abu ampas tebu) | •Variasi persentase bahan tambah berbeda 4%, 8% dan 12% •Pengujian meliputi kuat tekan, kuat Tarik belah, dan kuat lentur |
| 3. | M Arriandri Purta | Pemanfaatan Kombinasi Limbah Abu Ampas Tebu Dan Kulit Kerang Sebagai Subtitusi Semen Pada Campuran Beton Mutu K-225 Dengan NaCl Sebagai Rendaman | •Menggunakan salah satu bahan tambah yang sama (abu ampas tebu) | •Menggunakan NaCl sebagai rendaman •Menambhakan kombinasi antara abu kulit kerang dan abu ampas tebu sebagai bahan tambah |

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu yang penulis temukan terdapat beberapa perbedaan, diantaranya presentase bahan tambah abu terbang terhadap berat semen, asal abu terbang yang digunakan dalam penelitian dan mutu beton yang berbeda dari penelitian terdahulu dengan penelitian yang telah dilaksanakan oleh penulis.