

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Beton

Dipohusodo (1996) menyatakan, 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. Campuran beton tersebut seiring dengan bertambahnya waktu akan menjadi keras seperti batuan, dan memiliki kuat tekan yang tinggi namun kuat tariknya rendah.

Beton yang berkualitas baik adalah beton yang memiliki kuat tekan tinggi, kedap air dan tidak keropos. Tingkat porositas dan permeabilitas yang tinggi menyebabkan rendahnya keawetan beton, sehingga beton tidak dapat digunakan sesuai dengan masa layannya. Nilai kekuatan serta daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, diantaranya ialah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan finishing, temperatur, dan kondisi perawatan pengerasannya. Kekuatan, keawetan dan sifat beton dapat dilihat dari sifat bahan dasar pembuatan beton. Selain itu, nilai perbandingan bahan dasar beton, cara pengadukan, pengerjaan, penuangan, pemadatan, dan perawatan selama proses pengerasan juga dapat berpengaruh besar terhadap kualitas mutu beton yang dibuat.

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:

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. |

(Sumber: Spesifikasi Umum, Beton dan Beton Kinerja Tinggi, 2018)

Menurut Mulyono (2004), 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 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 Tri Mulyono (2019), secara umum kelebihan dan kekurangan beton adalah:

2.2.1 Kelebihan

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 memperlajari 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.

2.2.2 Kekurangan

Disamping segala keunggulan diatas, beton sebagai struktur juga mempunyai bebarapa 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.

2.3 Sifat Beton

Dalam proses *mix design* beton, penyusunan campuran beton tidak hanya memperhatikan sifat beton pada suatu keadaan, melainkan beton dirancangan untuk dua kondisi yaitu pada beton segar (tahap plastis) dan beton keras (tahap perkerasan). Tahap plastis adalah keadaan saat bahan-bahan beton pertama kali dicampurkan sehingga teksturnya seperti adonan yang lunak, encer, dan mudah berubah bentuk. Sedangkan tahap perkerasan terjadi ketika beton mulai mengeras. Agar beton dapat mencapai sifat-sifat keras yang dikehendaki, maka beton harus dipadatkan dengan keseragaman yang baik. Suatu campuran beton dapat dipadatkan dengan baik atau tidak sangat bergantung pada sifat-sifat beton itu sendiri.

2.3.1 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*).

2.3.1.1 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.

2.3.1.2 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 segresi 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 segresi 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.

2.3.1.3 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 (*laitance*) 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.

2.3.1.4 *Kohesifnes*

Kohesifnes yaitu sifat untuk saling melekat antara agregat dengan semen. Sifat ini termasuk sifat positif dari beton segar. Hal ini terjadi saat bahan-bahan beton dicampur dengan air terutama semen. Hal tersebut dipengaruhi oleh:

1. Kehalusan semen,
2. Kadar air pengaduk, dan
3. Bahan tambah (*admixture*).

2.3.1.5 *Setting Time* (Waktu Pengikatan Beton)

Setting time atau waktu pengikatan pada beton adalah sifat beton atau semen pada waktu mengikat atau mengeras. Waktu standar pengikatan awal adalah 1-2 jam pada saat beton dicetak dan dipadatkan. Hal tersebut dapat dihindari dengan membuat faktor air yang sedikit tetapi tidak mengurangi *workability*, yaitu dengan penggunaan bahan tambah (*admixture*). *Setting time* ini dipengaruhi oleh:

1. Jenis semen yang digunakan

Semen memiliki beberapa tipe yang mempunyai waktu pengikatan yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan.

2. Faktor air semen

Apabila faktor air semen terlalu tinggi atau besar, maka beton menjadi semakin encer dan waktu pengikat pun akan menjadi semakin lama.

3. Suhu lingkungan juga mempengaruhi waktu pengikatan. Dengan suhu yang rendah, maka proses pengikatan awal akan semakin lama.

4. Bahan tambah (*admixture*).

2.3.2 Sifat Beton Keras

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*), kedap (*impermeability*), dan kekuatan (*strength*).

2.3.2.1 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.

2.3.2.2 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.

2.3.2.3 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 Bahan Campuran 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.

2.4.1 Semen Portland

Semen merupakan salah satu bahan dasar pembuatan beton yang tergolong kedalam jenis semen hidrolis. Semen hidrolis mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air. Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik pada sektor konstruksi. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambah agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar yang jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*concrete*). Proses ini disebut dengan istilah proses hidrasi semen. 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 sangat penting.

Jenis semen hidrolis yang banyak digunakan hingga saat ini adalah semen Portland. Semen Portland adalah material berbentuk bubuk berwarna abu-abu dan banyak mengandung kalsium dan alumunium silika. Beton yang terbuat dari semen Portland biasanya memerlukan waktu sekitar 28 hari untuk memperoleh kekuatan maksimalnya. Namun dalam hal khusus, sering dibutuhkan beton yang memiliki kuat tekan awal yang tinggi, sehingga diperlukan semen-semen jenis khusus.

2.4.1.1 Sifat Fisika Semen Portland

Semen yang satu dapat dibedakan dengan semen lainnya berdasarkan susunan kimianya maupun kehalusan butirnya. Sifat fisik semen meliputi kehalusan butir, berat jenis dan berat isi, waktu pengikatan palsu, kekekalan bentuk, kekuatan semen.

2.4.1.1.1 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*.

2.4.1.1.2 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.

2.4.1.1.3 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*.

2.4.1.1.4 Kekekalan Bentuk

Kekekalan bentuk adalah sifat dari pasta semen yang telah mengeras, dimana bila pasta tersebut dibuat bentuk tertentu, bentuk itu tidak berubah. Ketidakkekalan 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 C-151).

2.4.1.1.5 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.

2.4.1.1.6 Pengikat Awal Palsu

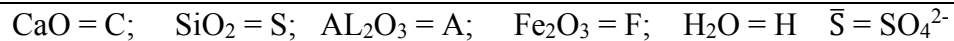
Pengikat awal yaitu pengikatan semen yang terjadi kurang dari 60 menit saat setelah semen dicampur dengan air dan adonan menjadi kaku. Setelah pengikatan awal palsu ini berkahir, adonan tidak dapat diaduk kembali. Pengikatan awal palsu terjadi karena pengaruh *gips* pada semen tidak bekerja sebagaimana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

2.4.1.2 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.

Tabel 2.2 Senyawa Utama Semen Portland

| Nama senyawa | Komposisi oksida | Singkatan |
|----------------------------------|---|------------------------------------|
| Tricalcium silicate | $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | C_3S |
| Dicalcium silicate | $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | C_2S |
| Tricalcium aluminat | $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ | C_3A |
| Tetracalcium Aluminoferrite | $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ | C_4AF |
| Kalsium sulfat dihidrat (Gypsum) | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | $\text{C}\bar{\text{S}}\text{H}_2$ |



(Sumber: Paul Nugraha, Teknologi Beton, 2007)

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.

2.4.1.3 Jenis Semen Portland

Melihat sifat yang berbeda dari masing-masing komponen semen, nampak bahwa perbedaan persentasi senyawa kimia akan menyebabkan sifat semen. Menurut ASTM (American Standard for Testing Material), membagi semen Portland menjadi 5 jenis, diantaranya:

1. Tipe I, yaitu jenis semen biasa yang dapat digunakan pada pekerjaan konstruksi umum.
2. Tipe II, merupakan modifikasi dari semen tipe I yang memiliki panas hidrasi lebih rendah dan dapat tahan dari beberapa jenis serangan sulfat.
3. Tipe III, merupakan tipe semen yang dapat menghasilkan kuat tekan beton awal yang tinggi. Setelah 24 jam proses pengecoran, semen tipe ini akan menghasilkan kuat tekan dua kali lebih tinggi daripada semen tipe biasa, namun panas hidrasi yang dihasilkan semen jenis ini lebih tinggi daripada semen hidrasi tipe I.

4. Tipe IV, merupakan semen yang mampu menghasilkan panas hidrasi yang rendah, sehingga cocok digunakan pada proses pengecoran dengan volume yang sangat besar.
5. Tipe V, biasanya digunakan untuk struktur-struktur beton yang memerlukan ketahanan yang tinggi dari serangan sulfat.

2.4.2 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 (SNI-2847-2013). 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.

Secara umum, semakin padat susunan agregat dalam campuran beton, maka beton yang dihasilkan akan makin tahan lama dan ekonomis. Oleh karena itu, agar dapat dipadatkan dengan baik, maka ukuran agregat harus dipilih sedemikian rupa sehingga memenuhi gradasi yang disarankan. Perlu juga diperhatikan bahwa agregat hendaknya memiliki kekuatan yang baik, awet, dan tahan cuaca, disamping itu juga harus bersih dari kotoran seperti lempung, tanah liat, lanau, maupun kotoran organik lainnya yang akan melemahkan lekatan antara pasta semen dan agregat.

2.4.2.1 Klasifikasi Agregat

Klasifikasi agregat dibagi menurut sumber, berat, bentuk, tekstur permukaan, dan ukuran butir nominal.

2.4.2.1.1 Klasifikasi Sumber

Jika dilihat dari sumbernya, agregat dapat dibedakan menjadi 2 golongan yaitu agregat yang berasal dari alam dan agregat buatan. Contoh agregat yang

berasal dari sumber alam adalah pasir alami dan kerikil, sedangkan contoh agregat buatan adalah agregat yang berasal dari alat pemecah batu, pecahan genteng, pecahan beton, dan abu terbang.

2.4.2.1.2 Klasifikasi Berat

Agregat dapat pula dibedakan berdasarkan beratnya. Ada tiga jenis agregat berdasarkan beratnya yaitu agregat normal, agregat ringan, dan agregat berat.

1. Agregat normal dihasilkan dari pemecahan batu batuan atau langsung dari sumber alam dan biasanya berasal dari granit, basalt, kuarsa, dan sebagainya. Berat jenis rata-ratanya adalah 2,5-2,7 atau tidak boleh kurang dari 1,2 kg/dm³.
2. Agregat ringan digunakan untuk menghasilkan beton yang ringan dalam sebuah bangunan yang memperhitungkan berat dirinya. Agregat ringan ini paling banyak digunakan untuk beton pracetak. Beton yang dibuat dengan agregat ringan mempunyai keunggulan sifat lebih tahan api yang baik, tetapi terdapat juga kelemahan karena ukuran pori pada beton lebih besar sehingga penyerapannya lebih besar.
3. Agregat berat mempunyai berat jenis lebih besar dari 2.800 kg/m³. Berat jenis beton yang dihasilkan dapat mencapai 5kali berat jenis bahannya. Beton yang dibuat dengan agregat ini biasanya digunakan sebagai pelindung dari radiasi sinar-X.

2.4.2.1.3 Klasifikasi Bentuk

Bentuk agregat belum terdefiniskan secara jelas, sehingga sifat tersebut sulit diukur dengan baik. Namun bentuk agregat ditentukan oleh 2 sifat yang tidak saling tergantung yaitu kebulatan atau ketajaman sudut dan oleh sferikal yaitu rasio antara luas permukaan dengan volume butir agregat. Bentuk agregat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Secara alamiah dipengaruhi oleh proses geologi batuan. Setelah dilakukan penambangan, bentuk agregat dipengaruhi oleh cara peledakan maupun mesin pemecah batu dan teknik yang digunakan. Klasifikasi agregat berdasarkan bentuknya diuraikan sebagai berikut.

1. Agregat Bulat

Agregat ini terbentuk karena terjadinya pengikisan oleh air atau keseluruhannya terbantuk karena penggeseran. Beton yang dihasilkan dari agregat ini kurang cocok untuk struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton mutu tinggi, karena ikatan antar agregat kurang kuat.

2. Agregat Bulat Sebagian atau Tidak Teratur

Agregat ini sebagian terbentuk karena pergeseran sehingga permukaan atau sudut-sudutnya berbentuk bulat. Beton yang dihasilkan dari agregat ini belum cukup baik untuk struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton mutu tinggi, karena ikatan antar agregat belum cukup baik.

3. Agregat Bersudut

Agregat ini mempunyai sudut yang tampak jelas, yang terbentuk ditempat-tempat perpotongan bidang-bidang dengan permukaan kasar. Beton yang dihasilkan dari agregat ini cocok untuk struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton mutu tinggi, karena ikatan antar agregatnya baik dan kuat. Agregat ini dapat juga digunakan untuk bahan lapis perkerasan.

4. Agregat Panjang

Agregat ini panjangnya jauh lebih besar dari pada lebarnya dan lebarnya jauh lebih besar dari pada tebalnya. Agregat disebut panjang jika ukuran terbesarnya lebih dari $9/5$ dari ukuran rata-rata. Agregat jenis ini akan berpengaruh buruk pada mutu beton yang akan dibuat. Kekuatan tekan dari beton yang menggunakan agregat ini juga buruk.

5. Agregat Pipih

Agregat ini disebut pipih jika perbandingan tebal agregat terhadap ukuran-ukuran lebar dan tebalnya lebih kecil. Dinamakan pipih jika ukuran terkecilnya kurang dari $3/5$ ukuran rata-ratanya. Agregat pipih dan agregat panjang tidak baik untuk digunakan dalam campuran beton mutu tinggi.

6. Agregat Pipih dan Panjang

Agregat jenis ini mempunyai panjang yang jauh lebih besar dari pada lebarnya, sedangkan lebarnya jauh lebih besar dari tebalnya.

Dari bentuk tersebut, pengaruh terhadap beton segar adalah dalam sifat pengerjaan beton yaitu *workability*. Agregat dengan bentuk yang bersudut sulit untuk dikerjakan, berbeda dengan agregat yang berbentuk bulat. Hal ini dikarenakan gesekan antar agregat pada bentuk yang bersudut lebih besar dibandingkan dengan yang bulat. Demikian pula dengan agregat yang pipih dan lonjong akan mengalami kesulitan pada pengecoran, karena akan menghambat masuknya campuran beton kedalam cetakan yang sempit atau karena rapatnya tulangan.

2.4.2.1.4 Klasifikasi Tekstur Permukaan

Umumnya agregat dibedakan menjadi kasar, agak kasar, licin, dan agak licin. Ukuran susunan agregat tergantung dari kekerasan, ukuran molekul, tekstur batuan, dan besarnya gaya yang bekerja pada permukaan butiran yang telah membuat licin atau kasar permukaan tersebut. Permukaan yang kasar akan menghasilkan ikatan yang lebih baik jika dibandingkan dengan permukaan agregat yang licin. Semakin licin permukaan agregat akan semakin sulit beton untuk dikerjakan. Jenis agregat berdasarkan tekstur permukaannya dibedakan sebagai berikut:

1. Agregat licin atau halus merupakan agregat yang lebih sedikit membutuhkan air dibandingkan dengan agregat permukaan kasar. Agregat licin terbentuk dari akibat pengikisan oleh air, atau akibat patahnya batuan berbutir halus atau batuan yang berlapis-lapis.
2. Berbutir merupakan pecahan agregat yang berbentuk bulat dan seragam.
3. Kasar merupakan pecahan yang dapat terdiri dari batuan berbutir halus atau kasar yang mengandung bahan-bahan berkrystal yang tidak dapat terlihat dengan jelas.
4. Kristalin yaitu agregat yang mengandung kristal-kristal yang nampak dengan jelas.

5. Berbentuk sarang lebah adalah agregat yang tampak dengan jelas pori-porinya dan rongga-rongganya.

2.4.2.1.5 Klasifikasi Berdasarkan Ukuran Butir Nominal

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.

1. Agregat Kasar

Agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi $\frac{1}{4}$ inc (6 mm). 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.

2. Agregat Halus

Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir. Ukurannya bervariasi antara ukuran terbesar 4,8 mm atau agregat yang lolos saringan no.4 dan tertahan saringan no. 200. Agregat halus harus bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan no. 100 atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton. Agregat halus harus terdiri dari bahan-bahan yang berbidang kasar, bersudut tajam, dan bersih dari kotoran atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki. Agregat halus bisa terdiri dari pasir bersih, bahan-bahan halus hasil pemecahan batu atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut dan dalam keadaan kering serta memenuhi persyaratan.

2.4.2.2 Susunan Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran agregat. Gradasi dalam agregat berpengaruh terhadap kepadatan beton. Untuk menghasilkan beton padat, diantara butiran harus saling mengisi. Untuk itu diperlukan variasi butiran agregat dari yang paling besar sampai yang paling kecil. Untuk mengetahui susunan butiran pada

agregat dilakukan dengan analisa saringan. Syarat susunan butiran agregat untuk beton telah diatur dalam peraturan-peraturan seperti SK-SNI, ASTM, dan British Standard. Menurut standar tersebut, gradasi agregat harus memenuhi syarat seperti dibawah ini.

2.4.2.2.1 Persyaratan Gradasi Agregat Halus

ASTM C.33-95 “Standard Spesification for Concrete Anggregates” memberikan syarat gradasi agregat halus seperti yang tercantum dalam tabel berikut ini.

Tabel 2.3 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 |

(Sumber: Tri Mulyono, Teknologi Beton, 2019)

2.4.2.2.2 Persyaratan Gradasi Agregat Kasar

Menurut *British Standard* (B.S), persyaratan gradasi agregat kasar yang baik, sebaiknya masuk dalam batas-batas yang tercantum dalam tabel berikut ini.

Tabel 2.4 Persyaratan Gradasi Agregat Kasar

| Lubang ayakan (mm) | Persen Butir Lewat Ayakan, Besar Butir Maks | | |
|--------------------|---|--------|---------|
| | 40 mm | 20 mm | 12,5 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 |

(Sumber: Tri Mulyono, Teknologi Beton, 2019)

2.4.2.3 Sifat Mekanikal Agregat

2.4.2.3.1 Kekuatan

Kekuatan agregat memberi pengaruh terhadap mutu kekuatan beton. Kekuatan beton tidak lebih tinggi dari kekuatan agregat, oleh karena itu sepanjang kekuatan tekan agregat lebih tinggi dari beton yang akan dibuat, maka agregat tersebut masih cukup aman digunakan sebagai campuran beton. Kekerasan atau kekuatan butir-butir agregat tergantung dari bahannya dan tidak dipengaruhi oleh lekatan antara butir satu dengan lainnya. Agregat yang lebih kuat biasanya mempunyai modulus elatisitas yang lebih tinggi. Butir-butir yang lemah tidak dapat menghasilkan kekuatan beton yang dapat diandalkan.

2.4.2.3.2 Lekatan

Bentuk dan tekstur permukaan agregat berpengaruh terhadap kekuatan beton, terutama untuk beton kekuatan tinggi. Pengaruh kuat lekat terhadap kekuatan lentur lebih besar dibandingkan dengan pengaruh terhadap kekuatan tekan. Tekstur permukaan yang lebih kasar menghasilkan lekatan yang lebih kuat antara butiran agregat dengan mortar. Bentuk partikel juga berpengaruh terhadap persentase rongga dalam beton, terhadap *workability* dan terhadap rasio luas permukaan partikel volume. Adanya rasio luas permukaan volume yang tinggi akan membutuhkan air campuran yang banyak untuk mencapai *workability*.

2.4.2.3.3 Ketahanan Tumbukan

Ketahanan tumbukan atau *toughness* adalah sifat ketahanan agregat terhadap tumbukan dan kehancuran akibat beban.

2.4.2.3.4 Kekerasan

Hardness adalah ketahanan agregat terhadap pengausan. Untuk beton konstruksi permukaan jalan raya dengan lalu lintas berat, sifat *hardness* ini sangat penting. Metode pengujian yang umum dipakai adalah metode *Los Angeles*.

2.4.3 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah

pengerjaannya. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan. Hampir semua air alami yang dapat diminum dan tidak memiliki rasa atau bau dapat digunakan sebagai air pencampuran dalam pembuatan beton. Adanya kotoran yang berlebih pada air tidak saja berpengaruh pada waktu ikat beton, kekuatan beton, dan stabilitas volume (perubahan panjang), namun juga dapat mengakibatkan pengkristalan atau korosi tulangan. Sedapat mungkin air dengan konsentrasi padatan terlarut sebaiknya dihindari.

Karena pasta semen merupakan hasil kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang menentukan, tetapi perbandingan air dengan semen atau yang biasa disebut sebagai faktor air semen (*water cement ratio*) yang menentukan. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sehingga akibatnya beton yang dihasilkan akan kurang kekuatannya. Karena beton harus cukup kuat dan mudah untuk dicetak, maka keseimbangan perbandingan antara berat air dan semen harus mendapat perbandingan yang cukup.

2.4.3.1 Sumber-Sumber Air

Air yang digunakan dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, kolam, situ, dan lainnya), air laut maupun air limbah, asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air laut tidak boleh digunakan sebagai bahan campuran beton pra-tegang ataupun beton bertulang karena resiko terhadap karat lebih besar. Air buangan industri yang mengandung alkali juga tidak boleh digunakan. Sumber-sumber air yang ada adalah sebagai berikut.

2.4.3.1.1 Air yang Terdapat di Udara

Air yang terdapat di udara atau atmosfer adalah air yang terdapat di awan. Kemurnian air ini sangat tinggi. Namun, hingga saat ini belum ada teknologi untuk mendapatkan air atmosfer ini secara mudah. Air yang terdapat dalam atmosfer ini

kondisinya sama dengan air suling, sehingga sangat mungkin untuk mendapatkan beton yang baik dengan air ini.

2.4.3.1.2 Air Hujan

Air hujan menyerap gas-gas serta uap dari udara ketika jatuh ke bumi. Udara terdiri dari komponen-komponen utama yaitu zat asam atau oksigen, nitrogen, dan karbondioksida. Bahan-bahan padat serta garam yang larut dalam air hujan terbentuk akibat peristiwa kondensasi.

2.4.3.1.3 Air Tanah

Air tanah terutama terdiri dari unsur kation dan anion. Pada kadar yang lebih rendah, terdapat juga unsur Fe, Mn, Al, B, F dan Se. Disamping itu air tanah juga menyerap gas-gas serta bahan-bahan organik.

2.4.3.1.4 Air Permukaan

Air permukaan dibagi menjadi air sungai, air danau dan situ, air genangan, dan air *reservior*. Erosi yang disebabkan oleh air permukaan, membawa serta bahan-bahan organik dan mineral-mineral. Air sungan atau air danau dapat digunakan sebagai bahan campuran beton asal tidak tercemar oleh air buangan industri. Air rawa-rawa atau air genangan tidak dapat digunakan sebagai bahan campuran beton, kecuali setelah melalui pengujian kualitas air.

2.4.3.1.5 Air Laut

Air laut yang mengandung 30.000-36.000 mg/liter (3%-3,6%) pada umumnya dapat digunakan sebagai campuran untuk beton tidak bertulang, beton pra-tegang, dan beton pra-tekan atau dengan kata lain untuk beton mutu tinggi. Air laut sebaiknya tidak digunakan untuk beton yang ditanami aluminium di dalamnya. Beton yang memakai tulangan atau yang mudah mengalami korosi pada tulangannya akibat perubahan panas (temperatur) dan lingkungan yang lembab (ACI 318_89:2-2).

2.5 Bahan Tambahan

Bahan campuran tambahan (*admixture*) adalah bahan-bahan yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat atau selama pencampuran

berlangsung. Fungsi bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu atau untuk menghemat biaya atau untuk tujuan lain seperti menghemat energi. Admixture atau bahan tambah didefinisikan *Standard Definitions of Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates* (ASTM C.125-1995:61) dan dalam *Cement and Concrete Terminology* (ACI SP-19) sebagai material selain air, agregat dan semen hidrolis yang dicampurkan dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung. Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton, misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, penghematan, atau untuk tujuan lain seperti penghematan energi.

Di Indonesia, bahan tambah telah banyak digunakan. Manfaat dan penggunaan bahan tambah ini perlu dibuktikan dengan menggunakan bahan agregat dan jenis semen yang sama dengan bahan yang akan di pakai di lapangan. Dalam hal ini bahan yang dipakai sebagai bahan tambah harus memenuhi ketentuan yang diberikan oleh SNI. Untuk bahan tambah kimia harus memenuhi syarat yang diberikan dalam ASTM C.494, "*Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete*".

2.5.1 Jenis-Jenis Bahan Tambah

Bahan tambah ini biasanya merupakan bahan tambah kimia yang dimaksudkan lebih banyak mengubah perilaku beton pada saat pelaksanaan pekerjaan, jadi dapat dikatakan bahwa bahan tambah kimia lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja pelaksanaan. Beberapa jenis bahan tambah yang sering digunakan untuk beton dikelompokkan dalam 5 kelompok yaitu *accelerating*, *air-entraining*, *water reducer*, *set retarding*, *high range water reducer*, dan *pozzolan*.

2.5.1.1 Accelerating Admixtures

Accelerating admixtures adalah bahan tambah untuk mempercepat pertumbuhan kuat tekan beton. Bahan tambah ini dicampurkan ke dalam adukan beton untuk mereduksi waktu ikat beton dan mempercepat laju pertumbuhan kuat tekan beton. Bahan ini berasal dari bermacam-macam garam terlarut. Dosis

maksimum yang dapat diberikan dari bahan tambah jenis ini adalah 1% dari berat semen atau sering diambil 0,5% saja.

2.5.1.2 Air-Entraining Admixtures

Air-Entraining Admixtures adalah bahan tambah pembentuk gelembung udara. Bahan tambah ini akan meningkatkan kemudahan pekerjaan beton serta pada beton yang telah mengeras akan mampu meningkatkan ketahanan terhadap es. Sebagian besar bahan tambah pembentuk gelembung udara berbentuk cair, meskipun ada sebagian yang berbentuk serbuk, serpihan ataupun semi padat. Jumlah yang dibutuhkan dalam suatu campuran tergantung pada bentuk dan gradasi agregat yang digunakan. Semakin halus agregat yang digunakan, maka dibutuhkan dosis yang semakin banyak .

2.5.1.3 Water-reducing Admixtures

Water-reducing Admixtures adalah bahan tambah pengurang air. Bahan tambah jenis ini banyak digunakan untuk mengurangi rasio air semen sehingga dapat meningkatkan kuat tekan beton. Sebagian besar bahan tambah jenis ini berbentuk cair, dan biasanya menjadi bagian dari pencampur beton dan mengurangi jumlah air yang dibutuhkan dalam suatu adukan beton. Dosis yang digunakan biasanya diambil bervariasi dari 1 hingga maksimum 2% berat semen.

2.5.1.4 Set Retarding Admixtures

Set Retarding Admixtures adalah bahan tambah untuk memperlambat waktu ikat beton. Bahan ini digunakan untuk memperlama waktu ikat beton dan biasa digunakan apabila tempat pengadukan beton dan tempat penuangan adukan di lokasi proyek cukup jauh, sehingga selisih waktu antara mulai pencampuran adukan hingga pemadatan lebih dari 1 jam. Di kota besar dengan lalu lintas yang padat dan macet, bahan tambah ini sangat membantu para penyedia beton segar.

2.5.1.5 High Range Water Reducer

High Range Water Reducer adalah bahan tambah untuk mengurangi air dalam jumlah yang besar. Bahan ini digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran hingga 12% bahkan lebih, dan dapat menghasilkan beton dengan kelecakan yang bagus. Bahan tambah ini sering disebut juga istilah *superplasticizer*.

2.5.1.6 Bahan Tambah *Pozzolan*

Pozzolan adalah bahan alam atau buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silika atau alumina. *Pozzolan* tidak mempunyai sifat semen, namun dalam keadaan halus yaitu lolos ayakan 0,21 mm dapat bereaksi dengan air dan kapur padam pada suhu normal (24°-27°) menjadi suatu massa padat yang tidak larut dalam air. *Pozzolan* dapat dipakai sebagai bahan tambah untuk menggantikan sebagian jumlah semen. Jika dipakai sebagai substitusi parsial semen Portland, maka persentase penggunaan *pozzolan* biasanya berkisar antara 10% hingga 35% dari berat semen. Jenis *pozzolan* yang dapat digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran beton adalah abu terbang (fly ash) dan silika fume.

2.5.2 Genteng

Genteng merupakan bagian utama dari suatu bangunan sebagai penutup atap rumah. Fungsi utama genteng adalah menahan panas sinar matahari dan guyuran air hujan. Dengan mengingat fungsi genteng sebagai atap yang berperan penting dalam suatu bangunan untuk pelindung rumah, maka genteng harus memiliki sifat mekanis yang baik, seperti kuat tekan, kekuatan pukul, kekerasan dan sifat lainnya. Jenis genteng bermacam-macam, ada genteng beton, genteng tanah liat, genteng keramik, genteng seng dan genteng kayu. Genteng yang ringan dan banyak digunakan adalah genteng tanah liat. Genteng tanah liat mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan jenis genteng lainnya. Selain murah, genteng tanah liat dapat tahan di segala cuaca, tidak menyerap hawa panas matahari pada siang hari dan memberikan rasa hangat pada malam hari karena pada malam hari panas dalam genteng dikeluarkan secara perlahan-lahan. Namun, genteng tanah liat juga memiliki kelemahan yaitu bisa mudah pecah karena kejatuhan benda atau menerima beban tekanan yang besar melebihi kapasitasnya dan mempunyai daya serap yang tinggi.

Tanah liat yang digunakan untuk membuat genteng haruslah memiliki kandungan kaolin, yang dapat diambil di daerah sekitar lapangan, ladang, pegunungan, ataupun perkebunan. `Genteng tanah liat dibuat dengan cara dibakar dengan suhu panas mencapai 600 derajat celcius. Kualitas genteng sangat

ditentukan dari bahan dan suhu pembakaran, karena hal tersebut akan menentukan daya serap air dan daya tekan genteng.

Pecahan genteng adalah sampah hasil dari genteng yang cacat dan tidak layak untuk digunakan. Karakteristik pecahan genteng adalah serapan air sebesar 11,394%. Pecahan genteng termasuk ke dalam agregat ringan buatan. Agregat buatan ringan adalah agregat yang dibuat dengan membengkakkan atau memanaskan bahan-bahan seperti terak dari peleburan besi, tanah liat, abu terbang, tanah serpih, batu tulis, dan lempung. Karena ukuran berat genteng yang cukup berat, genteng dapat dijadikan sebagai bahan pengganti agregat kasar pada pembuatan beton.

2.6 Uji Propertis Bahan Campuran Beton

Pengujian terhadap bahan-bahan penyusun beton dilakukan untuk memahami sifat-sifat dan karakteristik bahan-bahan tersebut serta untuk menganalisis dampaknya terhadap sifat dan karakteristik beton yang dihasilkan, baik pada kondisi beton segar, beton muda maupun beton yang telah mengeras. Pengujian dilakukan menggunakan alat yang telah tersedia di laboratorium. Pengujian bahan ini meliputi bahan agregat halus, agregat kasar, dan bahan tambah lainnya.

2.6.1 Pengujian Agregat Kasar dan Halus

Agregat halus harus terdiri dari bahan-bahan yang berbidang kasar, bersudut tajam dan bersih dari kotoran-kotoran atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki. Agregat halus bisa terdiri dari pasir bersih, bahan-bahan halus hasil pemecah batu atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut dan dalam keadaan kering serta memenuhi persyaratan. Sedangkan agregat kasar yaitu agregat yang tertahan pada saringan no. 4. Agregat harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, kering, kuat, awet, dan bebas dari bahan lain yang mengganggu serta memenuhi persyaratan. Pengujian campuran beton pada agregat meliputi dua pengujian yaitu pengujian berat isi dan berat padat.

2.6.1.1 Pengujian Berat Isi

Pengujian berat isi merupakan pengujian untuk menentukan berat isi dan rongga udara dalam agregat kasar dan halus. Berat isi adalah perbandingan berat dengan isi. Dalam pengujian berat isi ini menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Berat isi Agregat B} = \frac{W^3}{V} \text{ (kg/cm}^3\text{)} \quad (2.1)$$

$$\text{Rongga Udara} = \frac{(A-W)-B}{(A \times B)} \times 100 \quad (2.2)$$

Dimana:

B = berat isi agregat (kg/cm³)

V = isi wadah (cm³)

A = *bulk specific gravity* agregat (kg/cm³)

W = berat isi air (kg/dm³)

2.6.1.2 Pengujian Kadar Air

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air agregat dengan cara mengeringkan. Kadar air agregat adalah perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering. Percobaan ini digunakan untuk menyesuaikan berat takaran beton apabila terjadi perubahan kadar kelembaban beton. Adapun persamaan dalam menghitung pengujian kadar air adalah sebagai berikut:

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\% \quad (2.3)$$

Dengan:

W3 = berat contoh semula (gram)

W5 = berat contoh kering (gram)

2.6.1.3 Pengujian Analisa Saringan

Analisa saringan bertujuan untuk mengetahui pembagian butiran dari agregat halus yang digunakan. Pengujian ini sesuai dengan standar *British Standard* (B.S) untuk agregat kasar dan ASTM 136-04 untuk agregat halus. Dari hasil pengujian

dengan menggunakan saringan ini akan diketahui sebaran dari butiran agregat halus yang digunakan. Pengujian analisa saringan dilakukan dengan menggunakan dua buah benda uji dengan hasil yang telah ditampilkan sebelumnya. Menurut ASTM 136-04 pemabagian butiran dari agregat kasar dan agregat halus harus memenuhi persyaratan sebagai berikut.

Tabel 2.5 Gradasi Kombinasi Agregat Kasar Menurut *British Standard*

| Lubang ayakan (mm) | Persen Butir Lewat Ayakan, Besar Butir Maks | | |
|--------------------|---|--------|---------|
| | 40 mm | 20 mm | 12,5 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 |

Tabel 2.6 Syarat Mutu Agregat Halus Menurut ASTM C. 33-95

| 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 |

2.6.1.4 Berat Jenis dan Penyerapan (Absorpsi) Air

Pengujian berat jenis dan absorpsi dari agregat bertujuan untuk menentukan berat jenis curah, SSD, dan Apparent dari agregat. Disamping itu dari pengujian ini juga akan diketahui besar nilai absorpsi dari agregat.

Pada tahapan rancang campur, berat jenis yang akan digunakan adalah berat jenis SSD, karena pada kondisi ini akan sama dengan kondisi agregat pada saat pengecoran beton. Kondisi SSD digunakan karena pada kondisi ini kandungan air pada agregat jenuh (mengisi seluruh pori-pori), namun air tidak ada yang berada diantara butiran agregat, sehingga pada pengecoran, air yang digunakan tidak lagi diserap oleh agregat dan tidak ada air tambahan yang berasal dari celah antar butiran agregat.

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam perhitungan berat jenis dan penyerapan (absorpsi) air adalah sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis permukaan kering jenuh} = \frac{Ba}{B+Ba-Bt} \quad (2.4)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \quad (2.5)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \quad (2.6)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{Ba-Bk}{Bk} \times 100 \quad (2.7)$$

Keterangan:

Bk = berat benda uji kering oven, dalam gram

B = berat piknometer berisi air, dalam gram

Bt = berat piknometer berisi benda uji dan air, dalam gram

Ba = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh, dalam gram

2.6.1.5 Pengujian Gumpalan Lempung

Metode pengujian gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam pelaksanaan pengujian untuk menentukan gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat. Tujuan metode ini adalah untuk memperoleh persen gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat halus maupun kasar, sehingga dapat digunakan oleh perencana dan pelaksana. Rumus yang digunakan dalam perhitungan gumpalan lempung tersebut adalah:

$$P = \frac{(W-R)}{W} \times 100 \quad (2.8)$$

Keterangan:

P = gumpalan lempugn dan butir-butir mudah pecah dalam agregat

W = berat benda uji (gram)

R = berat benda uji kering oven yang tertahan pada masing-masing ukuran saringan setelah dilakukan penyaringan basah (gram)

2.6.1.6 Pengujian Jumlah Bahan dalm Agregat yang Lolos No. 200

Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm) adalah banyaknya bahan yang lolos saringan no. 200 sesudah agregat dicuci sampai air cucian menjadi jenuh. Tujuan metode ini adalah untuk memperoleh persentase jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no. 200, sehingga berguna bagi perencana dan pelaksana. Rumus yang digunakan adalah:

$$\text{Berat kering benda uji awal: } W_3 = W_1 - W_2 \quad (2.9)$$

$$\text{Berat kering benda uji sesudah pencucian: } W_5 = W_4 - W_2 \quad (2.10)$$

$$\text{Bahan lolos saringan no. 200: } W_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100 \quad (2.11)$$

Keterangan:

W_1 = berat keringa benda uji + wadah (gram)

W_2 = berat wadah (gram)

W_3 = berat kering bedan uji awal (gram)

W_4 = berat skering uji sesudah pencucian + wadah (gram)

W_5 = berat kering bend auji sesudah pencucian (gram)

W_6 = % bahan lolos saringan no. 200

2.6.1.7 Pengujian Kotoran Organik dalam Pasir untuk Campuran Beton

Metode ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalm pelaksanaan pengujian untuk menentukan adanya bahan organik dalam pasir alam yang akan digunakan sebagai bahan campura beton. Pengujian ini adalah untuk mendapatkan

angka dengan petunjuk larutan standar atau standar warna yang telah ditentukan terhadap larutan benda uji pasir. Pengujian ini selanjutnya dapat digunakan dalam pekerjaan pengendalian mutu agregat.

Mutu larutan benda uji lebih gelap dari warna larutan standar atau menunjukkan warna standar lebih besar dari no. 3, maka kemungkinan mengandung bahan organik yang tidak diizinkan untuk bahan campuran mortar atau beton.

2.6.1.8 Pengujian Abrasi

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan mempergunakan mesin Los Angeles. Keausan agregat tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan no. 12 terhadap berat semula, dalam persen dapat dipisahkan.

2.7 Rancangan Campuran Beton Normal

Campuran beton merupakan perpaduan dari komposit material penyusunnya. Karakteristik dan bahan akan mempengaruhi hasil rancangan. Perencanaan campuran beton merupakan suatu hal yang kompleks jika dilihat dari perbedaan sifat dan karakteristik bahan penyusunnya. Karena bahan penyusun tersebut akan menyebabkan variasi dari produk beton yang dihasilkan. Tujuan perancangan campuran beton adalah untuk menentukan proporsi bahan-bahan baku penyusun beton yang optimal dengan kekuatan yang maksimum. Pengertian optimal adalah penggunaan bahan yang minimum dengan tetap mempertimbangkan kriteria standar dan ekonomis dilihat dari biaya keseluruhan untuk membuat struktur beton tersebut. Proporsi campuran dari bahan-bahan penyusun beton ini ditentukan melalui sebuah perencanaan beton (*mix design*).

Ada sejumlah metode perencanaan campuran (*mix design*). Tidaklah dapat dikatakan mana metode yang paling baik, karena masing-masing mempunyai keunggulan, tergantung material yang dipakai dan tujuan struktur beton tersebut. Dalam menentukan proporsi campuran dapat digunakan beberapa metode yang dikenal, antara lain:

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

Metode *American Concrete Institute* (ACI) mensyaratkan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonomisnya dengan memperhatikan ketersediaan bahan-bahan di lapangan, kemudahan pengerjaan, serta keawetan dan kekuatan pekerjaan beton. Cara ACI melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air perkubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*).

Meurut SNI 7.15-1990-03, beton yang digunakan pada rumah tinggal atau untuk penggunaan beton dengan kekuatan tekan tidak melebihi 10 MPa sesuai dengan teori perencanaan proporsi campuran adukan beton. Pembuatan beton boleh menggunakan campuran dengan perbandingan volume 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil dengan *slump* tidak lebih dari 100 mm.

Pengerjaan beton dengan kekuatan tekan hingga 20 MPa boleh menggunakan penekaran volume, tetapi pengerjaan beton dengan kekuatan beton akan lebih besar dari 20 MPa harus menggunakan campuran berat. Sebelum melakukan perancangan, data-data yang dibutuhkan harus dicari. Jika data-data yang dibutuhkan tidak ada atau tidak memenuhi ketentuan yang telah disyaratkan, maka dapat diambil data yang telah ada pada penelitian sebelumnya atau menggunakan data dari tabel-tabel yang telah dibuat untuk membantu penyelesaian perancangan campuran beton.

Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk merancang suatu campuran beton adalah metode Departemen Pekerjaan Umum (SNI 03-2834-2000). Berikut langkah-langkah perancangan beton normal metode Departemen Pekerjaan Umum (SNI 03-2834-2000).

2.7.1 Kuat Tekan Beton yang Disyaratkan (0)

Kuat tekan beton yang disyaratkan ditetapkan sesuai dengan persyaratan perencanaan struktur yang direncanakan dan kondisi setempat pada umur 28 hari. Berikut ini merupakan mutu suatu beton dan penggunaannya.

Tabel 2.7 Mutu Beton dan Penggunaannya

| Jenis Beton | f_c' (MPa) | b_k' (Kg/cm ²) | Uraian |
|-------------|---------------------|---------------------------------|---|
| Mutu Tinggi | $x \geq 45$ | $x \geq K500$ | Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang, beton prategang, gelar beton prategang, plat beton prategang dan sejenisnya |
| Mutu Sedang | $20 \leq x \leq 45$ | $K250 \leq x \leq 500$ | Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti plat lantai jembatan., gelagar beton bertulang, diagfragma, kereb beton pracetak, gorong – gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan, perkerasan beton semen. |
| Mutu Rendah | $15 \leq x < 20$ | $K175 \leq x < K250$ | Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar, dan pasangan batu kosong yang diisi adukan, pasangan batu. |
| | $10 \leq x < 15$ | $K125 \leq x < K175$ | Digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton. |

(Sumber: Beton untuk Jalan dan Jembatan)

2.7.2 Penetapan Nilai Deviasi Standar (s)

Deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya. Makin baik mutu pelaksanaan, makin kecil nilai deviasi standarnya. Penetapan nilai deviasi standar (s) ini berdasarkan hasil pengalaman praktek pelaksanaan pada waktu yang lalu, untuk membuat beton mutu yang sama dan menggunakan bahan dasar yang sama pula.

- a. Jika pelaksana mempunyai catatan data hasil pembuatan beton serupa pada masa lalu, maka persyaratan jumlah data hasil uji minimum 30 buah (satu data hasil uji kuat tekan adalah hasil rata-rata dari uji tekan dua silinder yang dibuat dari contoh beton yang sama dan diuji pada umur 28 hari atau umur pengujian lain yang ditetapkan). Jika jumlah data hasil kurang dari 30 buah maka dilakukan koreksi terhadap nilai deviasi standar dengan suatu faktor pengkali seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.8 Faktor Pengali Deviasi Standar (s) Bila Data Hasil Uji yang Tersedia Kurang Dari 30

| Jumlah Pengujian | Faktor Pengali Deviasi Standar |
|------------------|--|
| Kurang dari 15 | Lihat butir 4.2.3.1 1) (5): 1)deviasi standar yang didapat dari pengalaman di lapangan selama produksi beton. (5) bila data uji lapangan untuk menghitung s yang memenuhi persyaratan butir 4.2.3.1 1) diatas tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan harus diambil tidak kurang dari ($f_c + 12$ MPa) |
| 15 | 1,16 |
| 20 | 1,08 |
| 25 | 1,03 |
| 30 atau lebih | 1,00 |

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

- b. Jika pelaksana tidak mempunyai catatan atau hasil pengujian beton pada masa lalu yang memenuhi persyaratan tersebut (termasuk data hasil uji kurang dari 15 buah), maka nilai margin langsung diambil sebesar 12 MPa. Untuk memberikan gambaran bagaimana cara menilai tingkat pengendalian mutu pekerjaan beton, dapat melihat tabel berikut:

Tabel 2.9 Deviasi Standar untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

| Isi Pekerjaan | | Deviasi Standar (MPa) | | |
|---------------|-----------------------------|-----------------------|---------------|----------------|
| Sebutan | Vol Beton (m ³) | Baik Sekali | Baik | Dapat Diterima |
| Kecil | < 1000 | 4,5 < S < 5,5 | 5,5 < S < 6,5 | 6,5 < S < 8,5 |
| Sedang | 1000 – 3000 | 3,5 < S < 4,5 | 4,5 < S < 5,5 | 6,5 < S < 7,5 |
| Besar | > 3000 | 2,5 < S < 3,5 | 3,5 < S < 4,5 | 4,5 < S < 6,5 |

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2.7.3 Perhitungan Nilai Tambah Margin (M)

Jika nilai tambah atau margin dihitung berdasarkan nilai deviasi standar, maka dilakukan dengan rumus:

$$M = k \times s \quad (2.12)$$

Dimana:

M = nilai tambah (MPa)

K = 1,64

s = standar deviasi (MPa)

2.7.4 Kuat Tekan Rata-rata

Kuat tekan beton rata-rata yang dorencanakan diperoleh dengan rumus:

$$f_{cr} = f'_c + M \quad (2.13)$$

Dengan:

 f_{cr} = kuat tekan rata-rata (MPa) f'_c = kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

M = nilai tambah (MPa)

2.7.5 Menentukan Jenis Semen Portland

Menurut PUBLI 1982, di Indonesia semen Portland dibedakan menjadi 5 jenis, yaitu jenis I, II, III, IV, dan V. Jenis I merupakan jenis semen biasa, adapun jenis semen III merupakan jenis semen yang dipakai untuk struktur yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi atau dengan kata lain sering disebut dengan semen cepat mengeras. Pada langkah ini ditetapkan apakah menggunakan semen biasa atau semen yang cepat mengeras.

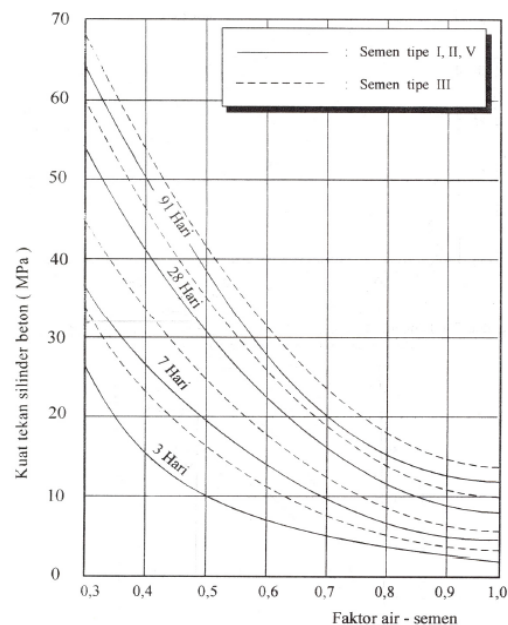
2.7.6 Penetapan Jenis Agregat

Jenis kerikil dan pasir ditetapkan, apakah berupa agregat alami (tidak dipecahkan) atau agregat jenis batu pecah.

2.7.7 Faktor Air Semen

Faktor air semen yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan. Faktor air semen dapat dicari melalui dua cara, yaitu:

1. Cara pertama, berdasarkan jenis semen yang dipakai dan kuat tekan rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur tertentu dan ditetapkan nilai faktor air semen berdasarkan grafik berikut.



Gambar 2.1 Grafik Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Rata-rata untuk Benda Uji Silinder (diameter 150 mm, tinggi 300 mm)
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2. Cara kedua, berdasarkan jenis semen yang dipakai, jenis agregat kasar, dan kuat tekan rata-rata yang direncanakan pada umur tertentu. Ditetapkan nilai faktor air semen sebesar 0,5.

Tabel 2.10 Perkiraan Kuat Tekan Beton dengan Faktor Air Semen 0,5

| Jenis Semen | Jenis Agregat Kasar | Kekuatan Tekan (MPa) pada umur (hari) | | | | Bentuk Benda Uji |
|--|---------------------|---------------------------------------|----|----|----|------------------|
| | | 3 | 7 | 28 | 91 | |
| Semen Portland tipe I atau semen tahan sulfat tipe II, V | Batu tak pecah | 17 | 23 | 33 | 40 | Silinder |
| | Batu pecah | 19 | 27 | 37 | 45 | |
| | Batu tak pecah | 20 | 28 | 40 | 48 | Kubus |
| | Batu pecah | 23 | 32 | 45 | 54 | |
| Semen Portland tipe III | Batu tak pecah | 21 | 28 | 38 | 44 | Silinder |
| | Batu pecah | 25 | 33 | 44 | 48 | |
| | Batu tak pecah | 25 | 31 | 46 | 53 | Kubus |

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2.7.8 Faktor Air Semen Maksimum

Agar beton yang dihasilkan tidak cepat rusak, maka perlu ditetapkan nilai faktor air semen maksimum. Penetapan faktor air semen maksimum dilakukan dengan melihat Tabel 2.10 Perkiraan kuat tekan beton dengan faktor air semen 0,5. Jika nilai faktor air semen lebih rendah dari pada nilai minimum, maka faktor air semen ini dapat dipakai untuk perhitungan selanjutnya.

Untuk lingkungan khusus, faktor air semen maksimum harus memenuhi SNI 03-1951-1992 tentang spesifikasi beton tahan sulfat dan SNI 03-2914-1994 tentang spesifikasi beton bertulang kedap air.

Tabel 2.11 Persyaratan Jumlah Semen Maksimum dan FAS untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

| Kondisi Lapangan | Nilai Faktor air semen maksimum |
|---|---------------------------------|
| Beton di dalam ruangan bangunan | |
| a. Keadaan keliling no korosif | 0.60 |
| b. Keadaan keliling korosif di sebabkan | 0.52 |
| Beton di luar ruangan : | |
| a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung | 0.60 |
| b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung | 0.60 |
| Beton yang masuk ke dalam tanah : | |
| a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti | 0.55 |
| b. Mendapatkan pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah | Lihat tabel 2.12 |
| Beton yang kontinyu berhubungan dengan air : | |
| a. air tawar dan air laut | Lihat Tabel 2.13 |

(Sumber: Kardiyono Tjokrodinuljo, Teknologi Beton, 2007)

Tabel 2.12 Ketentuan Untuk Beton yang Berhubungan dengan Air Tanah yang Mengandung Sulfat

| Kadar gangguan sulfat | Konsentrasi Sulfat Sebagai SO ₃ | | | Tipe semen | Kandungan semen minimum ukuran nominal agregat maksimum (Kg/M ³) | | | Factor air semen |
|---------------------------|---|-----------------|---|--------------------------|--|-------|-------|------------------|
| | Dalam tanah | | Sulfat (SO ₃) Dalam air Tanah g/l | | 40 mm | 20 mm | 10 mm | |
| Total SO ₃ (%) | SO ₃ dalam campuran Air : Tanah = 2: 1 g/l | | | | | | | |
| 1 | Kurang dari 0,2 | Kurang dari 1,0 | Kurang dari 0,3 | Tipe 1 dengan atau tanpa | 80 | 300 | 350 | 0,50 |

| | | | | | | | | |
|---|----------------------|-------------------|----------------------|---|-----|-----|-----|------|
| | | | | Pozolan (15-40%) | | | | |
| 2 | 0,2-0,5 | 1,0-1,9 | 0,3-1,2 | Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15-40%) | 290 | 330 | 350 | 0,50 |
| | | | | Tipe I Pozolan (15-40%) atau Semen Portland | 270 | 310 | 360 | 0,55 |
| | | | | Pozolan | | | | |
| | | | | Tip ell atau Tipe V | 250 | 290 | 340 | 0,55 |
| 3 | 0,5-1 | 1,9-3,1 | 1,2-2,5 | Tipe I Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozolan | 340 | 380 | 430 | 0,45 |
| | | | | Tip ell atau Tipe V | 290 | 330 | 380 | 0,50 |
| 4 | 1,0-2,0 | 3,1-5,6 | 2,5-5,0 | Tip ell atau Tipe V | 330 | 370 | 420 | 0,45 |
| 5 | Lebih dari 2,0 | Lebih dari 5,6 | Lebih dari 5,0 | Tip ell atau Tipe V Lapisan pelindung | 330 | 370 | 420 | 0,45 |

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Tabel 2.13 Ketentuan Semen Minimum untuk Beton Bertulang Kedap Air

| Berhubungan dengan | Tipe Semen | Faktor air Semen |
|--------------------|---|------------------|
| Air Tawar | Semua tipe I s.d V | 0.50 |
| Air Payu | Tipe I + Pozolan (15-40%) atau semen porland Pozolan | 0.45 |
| | Tipe II atau V | 0.50 |
| Air Laut | Tipe II atau V | 0.45 |

(Sumber: Kardiyono Tjokrodinuljo, Teknologi Beton, 2007)

2.7.9 Nilai Slump (Derajat Pengerjaan)

Penetapan nilai slump dilakukan dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan maupun jenis strukturnya. Cara pengangkutan adukan beton dengan aliran dalam pipa yang dipompa dengan tekanan memnentukan nilai slump yang besar, adapun pemadatan adukan engan alat getar dapat dilakukan dengan nilai slump agak kecil. Nilai slump yang diinginkan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.14 Penetapan Nilai Slump

| Pemakaian beton | Maksimum | Minimum |
|---|----------|---------|
| Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang | 12,5 | 5,0 |
| Pondasi telapak tidak bertulang, kaison dan struktur di bawah tanah | 9,0 | 2,5 |
| Plat, balok, kolom dan dinding | 15,0 | 7,5 |
| Pengerasan jalan | 7,5 | 5,0 |
| Pembetonan masal | 7,5 | 2,5 |

(Sumber: Kardiyono Tjokrodinuljo, Teknologi Beton, 2007)

Dari tabel 2.15 nilai slump yang ditetapkan dalam perancangan campuran beton adalah maksimum 15,0 mm dan minimum 7,5 mm.

2.7.10 Ukuran Agregat Maksimum

Penetapan besar butir agregat maksimum dilakukan berdasarkan hasil uji gradasi agregat kasar yang telah dilakukan dan ditetapkan sesuai dengan spesifikasi yang telah memenuhi syarat.

2.7.11 Nilai Kadar Air Bebas

Penetapan nilai kadar air bebas/jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton berdasarkan ukuran maksimum agregat, jenis agregat, dan slump yang diinginkan. Nilai kadar air bebas dapat dilihat dari tabel berikut.

Tabel 2.15 Perkiraan Kadar Air Bebas

| Ukuran besar butir agregat maksimum (mm) | Jenis agregat | Nilai Slump (mm) | | | |
|--|------------------|------------------|-------|-------|--------|
| | | 0-10 | 10-30 | 30-60 | 60-180 |
| 10 | Batu tak dipecah | 150 | 180 | 205 | 225 |
| | Batu pecah | 180 | 205 | 230 | 250 |
| 20 | Batu tak dipecah | 135 | 160 | 180 | 195 |
| | Batu pecah | 170 | 190 | 210 | 225 |
| 40 | Batu tak dipecah | 115 | 140 | 160 | 175 |
| | Batu pecah | 155 | 175 | 190 | 205 |

(Sumber: SNI 03-2843-2000)

Catatan: Koreksi suhu udara:

Untuk suhu di atas 25 °C, setiap kenaikan 5 °C harus ditambah air 5 liter per m² adukan beton.

Dari tabel diatas, apabila agregat halus dan agregat kasar yang dipakai dari jenis yang berbeda (alami dan pecahan), maka jumlah air yang diperkirakan diperbaiki dengan rumus:

$$\text{Kadar Air Bebas} = \frac{2}{3} Wh + \frac{1}{3} Wk \quad (2.14)$$

Keterangan:

Wh = jumlah air untuk agregat halus

Wk = jumlah air untuk agregat kasar

2.7.12 Jumlah Semen

Jumlah atau berat semen per meter kubik beton dihitung dengan membagi jumlah air (dari langkah 2.7.11) dengan faktor air semen yang paling kecil diantara minimum atau maksimum (langkah 2.7.7 dan 2.7.8).

2.7.13 Jumlah Semen Maksimum

Nilai semen maksimum didapat apabila ditetapkan sebelumnya.

2.7.14 Jumlah Semen Minimum

Kebutuhan semen minimum ditetapkan untuk menghindari beton dari kerusakan akibat lingkungan khusus, misalnya lingkungan korosif, air payau, dan air laut. Kebutuhan semen minimum ditetapkan menurut tabel berikut.

Tabel 2.16 Persyaratan Jumlah Semen Minimum

| Lokasi | Jumlah semen minimum per m ³ beton (Kg) | Nilai faktor air semen maksimum |
|---|--|---------------------------------|
| Beton didalam ruang bangunan: | | |
| a. Keadaan keliling non korosif | 275 | 0,60 |
| b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif | 325 | 0,52 |
| Beton diluar ruang bangunan: | | |
| a. Tidak terlindung dari hujan dan matahari | 325 | 0,60 |
| b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung | 275 | 0.60 |
| Beton masuk kedalam tanah: | | |
| a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti | 325 | 0,55 |
| b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah | | (Tabel 2.13) |
| Beton kontinu berhubungan: | | |
| a. Air tawar. | | (Tabel 2.14) |
| b. Air laut | | |

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2.7.15 Faktor Air Semen yang Disesuaikan

Jika jumlah semen mengalami berubah karena pertimbangan kadar air semen maksimum atau kadar air minimum, maka tentukan nilai faktor air semen yang disesuaikan, didapat dengan melakukan dua cara sebagai berikut:

1. Faktor air semen dihitung kembali dengan cara membagi jumlah air dengan jumlah semen minimum.
2. Jumlah air disesuaikan dengan mengalikan jumlah semen minimum dengan faktor air semen.

2.7.16 Susunan Besar Butir Agregat Halus

Berdasarkan gradasi hasil analisa saringan, agregat halus yang akan dipakai dikalsifikasikan menjadi 4 daerah (zona). Penentuan daerah gradasi itu didasarkan pada tabel gradasi berikut.

Tabel 2.17 Batas Gradasi Agregat Halus

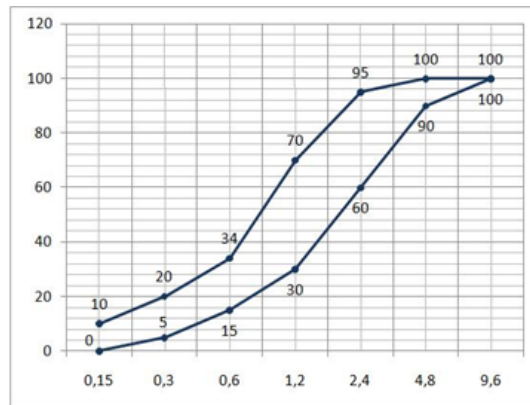
| Lubang Ayakan (mm) | Persen Berat Butir yang Lewat Saringan | | | |
|--------------------|--|--------|--------|--------|
| | I | II | III | IV |
| 10 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4,8 | 90-100 | 90-100 | 90-100 | 95-100 |
| 2,4 | 60-95 | 75-100 | 85-100 | 95-100 |
| 1,2 | 30-70 | 55-90 | 75-100 | 90-100 |
| 0,6 | 15-34 | 35-59 | 60-79 | 80-100 |
| 0,3 | 5-20 | 8-30 | 12-40 | 15-50 |
| 0,15 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-15 |

(Sumber: Kardiyono Tjokrodimulyo, Teknologi Beton, 2007)

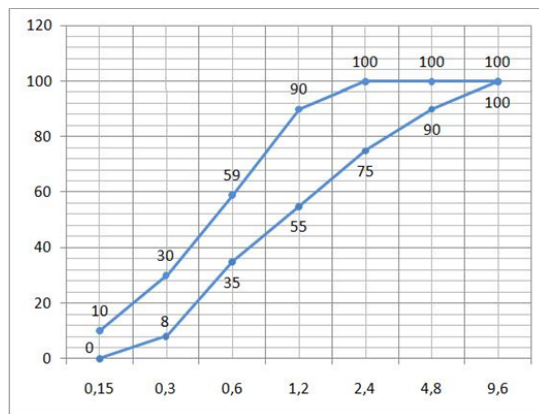
Keterangan:

- Daerah gradasi I = pasir kasar
- Daerah gradasi II = pasir agak kasar
- Daerah gradasi III = pasir halus
- Daerah gradasi IV = pasir agak halus

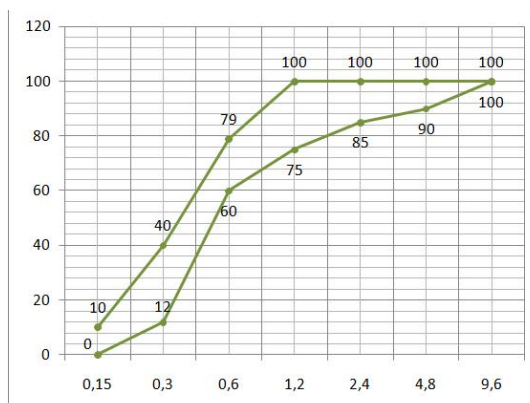
Setelah itu, tentukan gradasi agregat halus sesuai dengan syarat menurut kurva gradasi agregat halus.



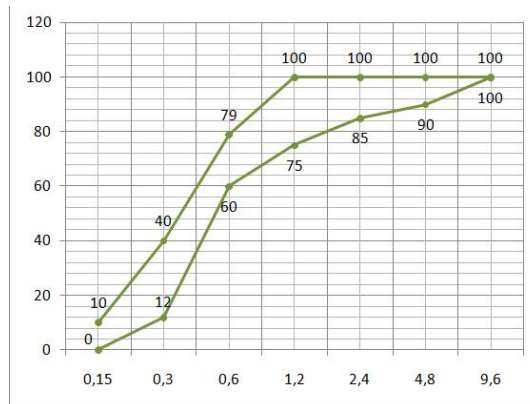
Gambar 2.2 Kurva Gradasi Agregat Halus Tipe I



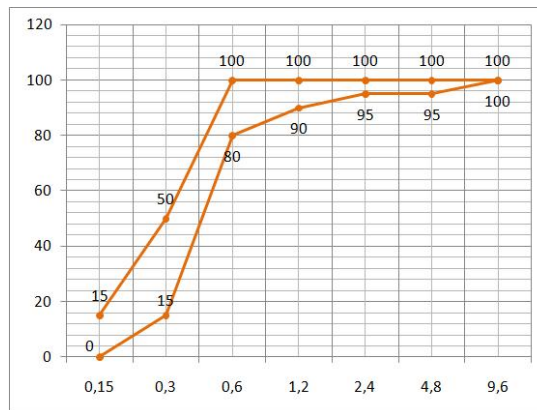
Gambar 2.3 Kurva Gradasi Agregat Halus Tipe II



Gambar 2.4 Kurva Gradasi Agregat Halus Tipe III



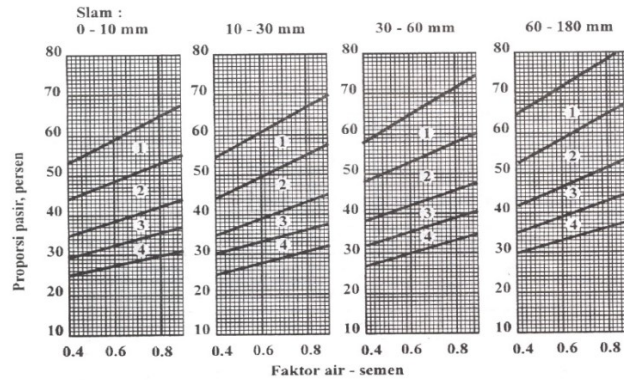
Gambar 2.5 Kurva Gradasi Agregat Halus Tipe IV



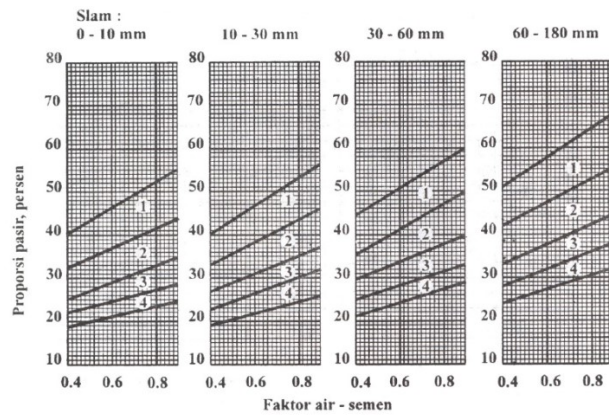
Gambar 2.6 Kurva Gradasi Agregat Halus Tipe V
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2.7.17 Perbandingan Agregat Halus dengan Agregat Kasar

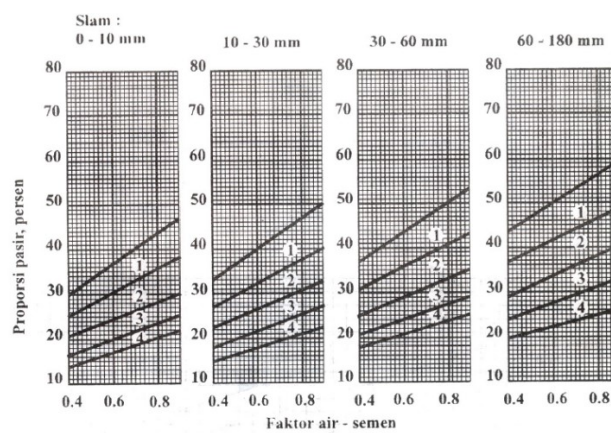
Nilai banding antara agregat halus dan agregat kasar diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik. Pada langkah ini dicari nilai banding antara berat agregat halus dan agregat kasar campuran. Proporsi agregat halus ditentukan berdasarkan nilai ukuran butir maksimum yang dipakai, faktor air semen, dan nilai slump yang digunakan serta zona gradasi agregat halus yang didapat dari gambar grafik 2.7, 2.8, 2.9 dan akan diperoleh persentase berat agregat halus terhadap berat agregat campuran.



Gambar 2.7 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Agregat Keseluruhan untuk Ukuran Butir Maksimal 10 mm



Gambar 2.8 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Agregat Keseluruhan untuk Ukuran Butir Maksimal 20 mm



Gambar 2. Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Agregat Keseluruhan untuk Ukuran Butir Maksimal 40 mm
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2.7.18 Berat Jenis Relatif Agregat Campuran/Gabungan

Berat jenis agregat campuran dihitung dengan rumus:

$$Bj_{camp} = \frac{P}{100} \times Bj_{ag. hls} + \frac{K}{100} \times Bj_{ag. ksr} \quad (2.15)$$

Dengan:

BJ camp = berat jenis agregat campuran

Bj agg. halus = berat jenis agregat halus

Bj agg. kasar = berat jenis agregat kasar

P = persentase agg. halus terhadap agg. campuran

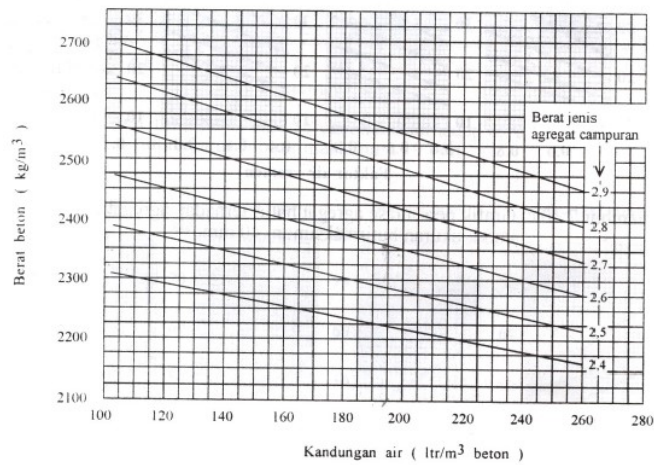
K = persentase agg. kasar terhadap agg. campuran

Berat jenis agregat halus dan agregat kasar diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium. Namun, jika tidak ada dapat diambil sebesar 2,5 untuk agregat tidak dipecah atau alami dan untuk agregat pecahan diambil 2,60 dan 2,70.

2.7.19 Berat Isi Beton (Basah)

Dengan data berat jenis agregat campuran dan kebutuhan air tiap per meter kubik betonnya, maka dengan grafik dibawah dapat diperkirakan berat jenis betonnya, dengan cara:

1. Dari berat jenis agregat campuran pada langkah 17 (nilai banding antara berat agregat halus dan agregat kasar), dibuat garis kurva berat jenis gabungan yang sesuai dengan garis kurva yang paling dekat dengan garis kurva pada grafik dibawah.
2. Kebutuhan air yang diperoleh dimasukkan dalam grafik, kemudian dari nilai ini ditarik garis vertikal ke atas sampai mencapai garis kurva yang dibuat.
3. Dari titik potong ini kemudian ditarik garis horizontal ke kiri sehingga diperoleh nilai berat jenis beton.



Gambar 2.9 Grafik Perkiraan Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2.7.20 Berat Agregat Campuran/Gabungan

Kebutuhan agregat campuran dihitung dengan cara mengurangi berat beton per meter kubik dikurangi kebutuhan air dan semen.

$$W_{\text{campuran}} = W_{\text{beton}} - A - S \quad (2.16)$$

Dengan:

W_{campuran} = kebutuhan agregat campuran (kg)

W_{beton} = berat beton (kg/m^3)

A = kebutuhan air (ltr)

S = kebutuhan semen (kg)

2.7.21 Kebutuhan Agregat Halus (Pasir)

Kebutuhan agregat halus dihitung dengan cara mengalikan kebutuhan agregat campuran dengan persentase berat agregat halusnya.

$$W_{\text{pasir}} = \frac{P}{100} \times W_{\text{campuran}} \quad (2.17)$$

Dengan:

W_{pasir} = kebutuhan agregat pasir (kg)

W_{campuran} = kebutuhan agregat campuran (kg)

P = persentase pasir terhadap campuran

2.7.22 Kebutuhan Agregat Kasar (Kerikil)

Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan cara mengurangi kebutuhan agregat campuran dengan kebutuhan agregat halus.

$$W_{\text{kerikil}} = W_{\text{campuran}} - W_{\text{pasir}} \quad (2.18)$$

Dengan:

W_{kerikil} = kebutuhan agregat kerikil (kg)

W_{pasir} = kebutuhan agregat pasir (kg)

W_{campuran} = kebutuhan agregat campuran (kg)

2.7.23 Koreksi Proporsi Campuran Beton

Setelah rancangan campuran beton selesai, perlu diingat bahwa yang akan digunakan dalam campuran beton adalah kondisi ada adanya (keadaan jenuh kering-muka), sehingga harus ada penyesuaian dengan rancangan yang sudah dibuat, maka dilakukan koreksi terhadap kebutuhan bahannya. Koreksi harus dilakukan minimum satu hari sekali.

$$\text{Air: } A - \frac{Ah-A1}{100} \times B - \frac{Ak-A2}{100} \times C \quad (2.19)$$

$$\text{Agregat Halus : } B + \frac{Ah-A1}{100} \times B \quad (2.20)$$

$$\text{Agregat Kasar : } C + \frac{Ah-A1}{100} \times C \quad (2.21)$$

Dengan :

A : jumlah kebutuhan air (liter/m³)

B : jumlah kebutuhan agregat halus (kg/m³)

C : jumlah kebutuhan agregat kasar (kg/m³)

Ah : kadar air sesungguhnya dalam agregat halus (%)

Ak : kadar air sesungguhnya dalam agregat kasar (%)

A1 : kadar air pada agregat halus jenuh muka (%)

A2 : kadar air pada agregat halus jenuh muka(%)

Untuk mempermudah pelaksanaan, berikut ini diberikan tabel formulir perencanaan adukan beton.

Tabel 2.18 Formulir Perencanaan Campuran Beton

| No | Uraian | Tabel/Grafik/ Perhitungan | Nilai |
|----|---|------------------------------|---|
| 1 | Kuat tekan yang disyaratkan (benda uji kubus) | Ditetapkan | 22,5 Mpa pada 28 hari Bagian tak memenuhi syarat 5 % |
| 2 | Deviasi Standar | Diketahui | (k=1,64) |
| 3 | Nilai tambah (margin) | | 7 Mpa |
| 4 | Kekuatan rata-rata yang ditargetkan Jenis semen | 1+3 | $1,64 \times 7 = 11,5$ Mpa $22,5 + 11,5 = 34,0$ Mpa |
| 5 | Jenis agregat: - kasar | Ditetapkan | Semen Portland Tipe I |
| 6 | - halus | Ditetapkan | Batu Pecah |
| 7 | Faktor air semen bebas | Tabel 2, grafik 1 | Alami |
| 8 | Faktor air semen maksimum | Ditetapkan | 0,60 (ambil nilai yang terkecil) |
| 9 | Slump | Ditetapkan | 0,60 |
| 10 | Ukuran agregat maksimum | Ditetapkan | Slump 30 – 60 mm |
| 11 | Kadar air bebas | Tabel 3 | 40 Mm |
| 12 | Kadar semen | 11:8 | 170 kg/m ³ |
| 13 | Kadar semen maksimum | Ditetapkan | $170 : 0,60 = 293$ kg/m ³ |
| 14 | Kadar semen minimum | Ditetapkan | $170 : 0,60 = 293$ kg/m ³ |
| 15 | Faktor air semen yang disesuaikan | | 275 kg/m ³ (pakai bila lebih besar dari 12 lalu hitung 15) |
| 16 | Susunan besar butir agregat halus | Grafik 3 s/d 6 | |
| 17 | Susunan agregat kasar atau gabungan | Tabel 7, Grafik 7, 8, 9 | Daerah gradasi susua butir 2 |
| 18 | Persen agregat halus | Grafik 10, 11, 12 | |
| 19 | Berat jenis relatif, agregat (kering permukaan) | Grafik 13 s/d 15 | 35 Persen |
| 20 | Berat isi beton | | 2,59 Diketahui |
| 21 | Kadar agregat gabungan | Grafik 16 | |
| 22 | Kadar agregat halus | 20 - 12 - 11 | 2.380 kg/m ³ |
| 23 | Kadar agregat kasar | 18 x 21 | $2.380 - 283 - 170 = 1.927$ kg/m ³ |
| 24 | Proporsi campuran | 21 - 22 | $1.927 \times 0,35 = 674$ kg/m ³ $1.927 \times 674 = 1.253$ kg/m ³ |

| | | Semen (kg) | Air (kg/lt) | Agregat kondisi jenuh kering permukaan (kg) | |
|----------------------------|--|---------------|---------------------|---|--------------------|
| | | | | halus | kasar |
| | - tiap m ³ | 283 | 15 | 702 | 1.245 |
| | - tiap campuran uji m ³ | 14,25 | 7,5 | 35,10 | 62,25 |
| 25 | Banyaknya bahan (teoritis) | | | | |
| | - tiap m ³ dengan ketelitian 5 kg | Semen (kg) | Air (kg atau liter) | Agregat halus (kg) | Agregat kasar (kg) |
| | - tiap campuran uji 0,05 m ³ | 283 | 170 | 674 | 10253 |
| | Koreksi campuran | 14,15 | 8,5 | 33,17 | 62,65 |
| | - Tiap m ³ | 283 | 150 | 702 | 1.245 |
| - Tiap 0,05 m ³ | 14,15 | 7,5 | 35,10 | 62,25 | |

(Sumber : Formulir Perencanaan Campuran Beton SNI 03-2834-2000)

2.8 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, 2005).

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:

$$(f'c) = \frac{P}{A} \text{ (MPa)} \quad (2.22)$$

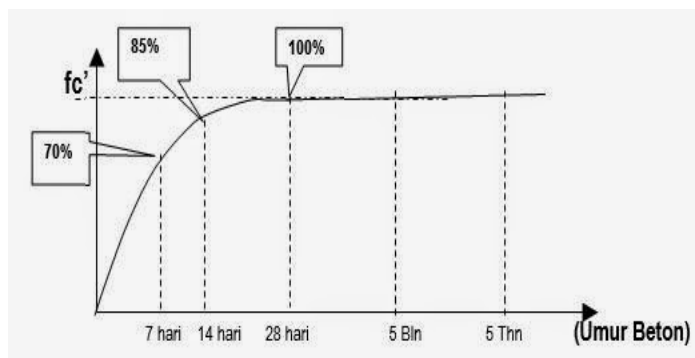
Dimana:

$(f'c)$ = kuat tekan beton (MPa)

P = beban tekan maksimum (N)

A = luas penampang tertekan mm²

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.



Gambar 2.10 Grafik umur beton

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. Apabila dalam pengujian kuat tekan beton mencapai hasil yang telah ditargetkan, maka beton tersebut memenuhi dan mampu memberikan informasi yang cukup.

2.8.1 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.

2.8.2 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.

Tabel 2.19 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 |

(Sumber: Kardiyono Tjokrodimulyo, Teknologi Beton, 2007)