

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Sebelumnya

2.1.1 Luis Ode Putra (2015)

Luis Ode Putra melakukan penelitian dengan judul “Perilaku Lentur Beton yang Menggunakan Limbah Ban sebagai Agregat”. Penelitian ini menggunakan *crumb rubber* dan *tire chips* sebagai limbah ban dengan variasi substitusi *crumb rubber* pada pasir dan *tire chips* pada kerikil dalam beton yaitu 0%, 10%, 20% dan 30%. Selain itu untuk meningkatkan *crumb rubber* terhadap campuran beton digunakan NaOH 10%. Penelitian ini bersifat eksperimental yang membuat rancang campuran beton untuk mencari kuat lentur pada benda uji 40 x 10 x 10 cm.

Hasil penelitian pada umur 28 hari kuat lentur beton menunjukkan substitusi *crumb rubber* dan *tire chips* pada variasi 10% lebih tinggi yaitu 5,33 Mpa dibandingkan dengan beton normal yaitu 4,99 Mpa, namun apabila substitusi karet lebih besar dari 10% akan menurunkan kuat lentur beton tersebut. Kurva hasil pembacaan lendutan cenderung membentuk garis linier dimana semakin besar beban maka pertambahan nilai lendutan juga semakin besar.

2.1.2 M. Irpan (2017)

M. Irpan melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Penambahan Hancuran Karet (*Crumb Rubber*) pada Campuran Beton terhadap Sifat Mekanik Beton”. Penelitian ini menggunakan *crumb rubber* sebagai pengganti sebagian pasir dengan variasi volume yaitu 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dengan ukuran *crumb rubber* lolos saringan 5 mm. Kuat tekan beton direncanakan adalah 20 Mpa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa berat volume beton menurun sekitar 0,95% pada setiap penambahan 5% *crumb rubber*. Kuat tekan, tarik belah dan modulus runtuh juga menurun seiring dengan peningkatan kandungan *crumb rubber*, sementara kuat tarik belah menurun sebesar 10,85% pada penambahan hingga 20% *crumb rubber*, kuat geser menurun sekitar 19,35%, namun demikian

modulus runtuh mengalami peningkatan hingga variasi campuran 10% yaitu sebesar 9,56%.

2.1.3 Maria Goreti (2021)

Maria Goreti melakukan penelitian dengan judul “Pemanfaatan Limbah Sandal Karet sebagai Material Substitusi Agregat Kasar pada Campuran Beton”. Penelitian ini menggunakan material alternatif limbah sandal karet sebagai substitusi agregat kasar pada campuran beton. Variasi limbah sandal karet pada campuran digunakan silinder berdiameter 10 cm, dan tinggi 20 cm. Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan dan kuat tarik belah usia 7, 14 dan 28 hari.

Hasil penelitian didapatkan kesimpulan bahwa campuran beton dengan limbah sandal karet sebesar 10% dari berat agregat kasar menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 21,008 Mpa lebih tinggi 3,63% dari kuat tekan beton normal yang menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 20,244 Mpa. Kuat tarik belah beton dengan limbah sandal karet sebesar 10% dari berat agregat kasar menghasilkan nilai kuat tarik belah sebesar 4,35 Mpa, lebih tinggi 15,86% dari kuat tarik belah beton normal sebesar 3,66 Mpa. Substitusi limbah sandal karet ke dalam campuran beton sebesar 10% dari berat agregat kasar dapat meningkatkan nilai kuat tekan dan kuat tarik belah dan merupakan campuran yang menghasilkan kekuatan optimal pada beton.

2.1.4 Moh. Ainun Najib

Moh Ainun Najib melakukan penelitian dengan judul “Beton Normal dengan menggunakan Ban Bekas sebagai Pengganti Agregat Kasar”. Penelitian ini menggunakan ban bekas sebagai pengganti sebagian agregat kasar dengan variasi volume yaitu 0%, 5%, 10% dan 15% dengan ukuran ban bekas 1 cm³. Kuat tekan beton direncanakan adalah K 225 ($f'c$ 18,68 Mpa).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton dengan campuran ban bekas sebagai pengganti sebagian dari agregat kasar, tidak dapat menaikkan mutu beton bahkan cenderung menurun dengan bertambahnya presentasi ban bekas. Penurunan kuat tekan terjadi dari 34% sampai 60%.

2.1.5 Persamaan dan Perbedaan

Persamaan dan perbedaan dari ketiga penelitian tersebut dapat diketahui antara lain sebagai berikut :

Tabel 2.1 Persamaan dan perbedaan

| No | Nama | Judul | Persamaan | Perbedaan |
|----|----------------|---|--|---|
| 1. | Luis Ode Putra | Perilaku Lentur Beton yang Menggunakan Limbah Ban sebagai Agregat | <ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan bahan tambah yang terbuat dari bahan dasar yang sama (Karet) • Tinjauan analisis (kuat lentur) | <ul style="list-style-type: none"> • Substitusi material (agregat kasar dan halus) • Persentase substitusi (0%, 10%, 20%, 30%) • Metode rencana campuran (metode <i>DOE/Development of Environment</i>) • Dimensi benda uji (10 x 10 x 40) • Pengujian sampel (hanya umur 28 hari) |
| 2. | M Irfan | Pengaruh Penambahan Hancuran Karet (<i>Crumb Rubber</i>) pada Campuran Beton terhadap Sifat Mekanik Beton | <ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan bahan tambah yang terbuat dari bahan dasar yang sama (Karet) • Metode rencana campuran (SNI 03-2834-2000) | <ul style="list-style-type: none"> • Substitusi material (agregat halus) • Persentase substitusi (0%, 5%, 10%, 15%, 20%) • Tinjauan analisis (kuat tekan) |

| | | | | |
|----|------------------|---|---|---|
| | | | | <ul style="list-style-type: none"> • Pengujian sampel (hanya umur 28 hari) |
| 3. | Maria Goreti | Pemanfaatan Limbah Sandal Karet sebagai Material Substitusi Agregat Kasar pada Campuran Beton | <ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan bahan tambah yang terbuat dari bahan dasar yang sama (Karet) • Substitusi material (agregat kasar) | <ul style="list-style-type: none"> • Persentase substitusi (0%, 10%, 20%, 30%) • Metode rencana campuran (metode DOE/<i>Development of Environment</i>) • Tinjauan analisis (kuat tekan) • Pengujian sampel (hanya umur 7, 14, dan 28 hari) |
| 4. | Moh. Ainun Najib | Beton Normal dengan menggunakan Ban Bekas sebagai Pengganti Agregat Kasar | <ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan bahan tambah yang terbuat dari bahan dasar yang sama (karet) • Substitusi material (agregat kasar) | <ul style="list-style-type: none"> • Persentase substitusi (0%, 5%, 10%, 15%) • Tinjauan analisis (kuat tekan) • Pengujian sampel (hanya umur 28 hari) |

2.1.5.1 Perbedaan dengan Luis Ode Putra

Perbedaan penelitian Luis Ode Putra dengan penelitian ini adalah penelitian Luis Ode menggunakan limbah karet ban sebagai material substitusi agregat kasar dan agregat halus dengan persentase 0%, 10%, 20%, 30%. Rencana campuran menggunakan metode DOE (*Development of Environment*) dengan dimensi benda uji 10 x 10 x 40 cm dan pengujian sampel dilakukan hanya di umur 28 hari.

Sedangkan penelitian yang akan dilakukan menggunakan limbah karet sol sebagai material substitusi agregat kasar dengan persentase 0%, 4%, 8%, 12%. Rencana campuran menggunakan SNI 03-2834-2000 dengan dimensi benda uji 15 x 15 x 60 cm dan pengujian sampel dilakukan pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari.

2.1.5.2 Perbedaan dengan M. Irpan

Perbedaan penelitian M. Irpan dengan penelitian ini adalah penelitian M Irpan menggunakan hancuran karet (*crumb rubber*) sebagai material substitusi agregat halus dengan persentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20%. Tinjauan yang dianalisis adalah kuat tekan dengan dimensi benda uji 15 x 30 cm dan pengujian sampel hanya di umur 28 hari.

Sedangkan penelitian yang akan dilakukan menggunakan limbah karet sol sebagai material substitusi agregat kasar dengan persentase 0%, 4%, 8%, 12%. Tinjauan yang dianalisis adalah kuat lentur dengan dimensi benda uji 15 x 15 x 60 cm dan pengujian sampel dilakukan pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari.

2.1.5.3 Perbedaan dengan Maria Goreti

Perbedaan Maria Goreti dengan penelitian ini adalah penelitian Maria Goreti menggunakan limbah sandal karet sebagai material substitusi agregat kasar dengan persentase 0%, 10%, 20%, 30%. Rencana campuran menggunakan metode DOE (*Development of Environment*) dengan tinjauan analisis kuat tekan dan pengujian sampel dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari.

Sedangkan penelitian yang akan dilakukan menggunakan limbah karet sol sebagai material substitusi agregat kasar dengan persentase 0%, 4%, 8%, 12%. Rencana campuran menggunakan SNI 03-2834-2000 dengan tinjauan analisis kuat lentur dengan dimensi benda uji 15 x 15 x 60 cm dan pengujian sampel dilakukan pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari.

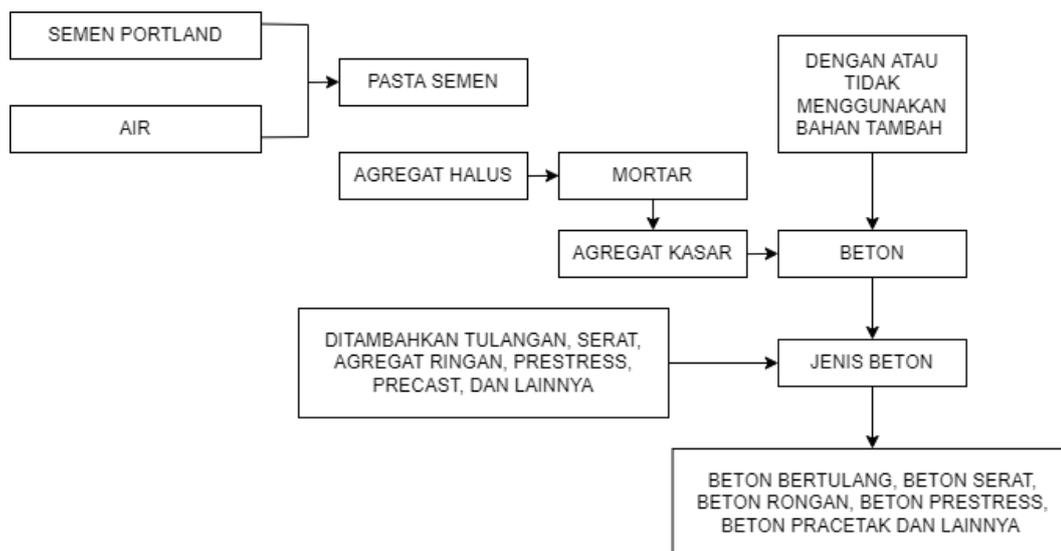
2.1.5.4 Perbedaan dengan Moh. Ainun Najib

Perbedaan penelitian Moh. Ainun Najib dengan penelitian ini adalah penelitian Moh. Ainun Najib menggunakan ban bekas sebagai material substitusi agregat kasar dengan persentase 0%, 5%, 10% dan 15%. Tinjauan yang dianalisis adalah kuat tekan dengan dimensi benda uji kubus 15 x 15 cm dan pengujian sampel hanya di umur 28 hari.

Sedangkan penelitian yang akan dilakukan menggunakan limbah karet sol sebagai material substitusi agregat kasar dengan persentase 0%, 4%, 8%, 12%. Tinjauan yang dianalisis adalah kuat lentur dengan dimensi benda uji 15 x 15 x 60 cm dan pengujian sampel dilakukan pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari.

2.2 Beton

Beton dalam bahasa Inggris disebut sebagai *concrete*. Kata “*concrete*” berasal dari Bahasa Latin yaitu “*concretus*” yang berarti padat. Dalam Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2834-2000), Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat.



Sumber : Mulyono, 2019

Gambar 2.1 Proses terbentuknya beton

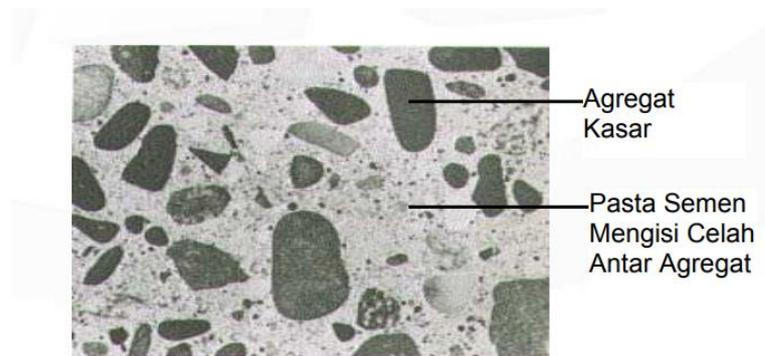
Klasifikasi beton umumnya dilakukan berdasarkan berat jenis dan kuat tekannya. Berdasarkan berat jenisnya, beton dibagi atas beton ringan yang memiliki berat jenis di bawah 1800 kg/m^3 , beton normal memiliki berat jenis 2400 kg/m^3 , dan beton berat memiliki berat jenis di atas 3200 kg/m^3 . Berdasarkan

kuat tekannya, beton dikategorikan sebagai beton mutu rendah yang memiliki kuat tekan kurang dari 20 Mpa, sedangkan beton mutu sedang memiliki kuat tekan 20 – 40 Mpa, dan beton mutu tinggi memiliki kuat tekan di atas 40 Mpa.

2.2.1 Karakteristik Beton

Beton yang terbentuk dari pencampuran semen, agregat kasar, agregat halus dan air memiliki sifat khusus. Dalam keadaan segar, beton harus mudah dikerjakan dan dalam keadaan keras beton harus mampu menerima beban tekan serta awet dalam menghadapi serangan kondisi lingkungan. Selain itu, beton juga dapat dirancang sesuai dengan peruntukannya dan kualitas yang diinginkan. Beton yang baik harus memenuhi tiga syarat yaitu :

1. Memiliki bahan pengisi yang baik, yaitu dengan kekerasan butiran agregat yang baik dan gradasi agregat yang beragam.
2. Memiliki bahan perekat yang baik, yaitu dengan kualitas dan kuantitas semen yang baik serta jumlah air yang digunakan sesuai dengan kebutuhan semen.
3. Memiliki lekatan antara matriks dan agregat yang baik. Hal ini dipengaruhi oleh kekasaran permukaan dan kebersihan permukaan material alam.



Sumber : Wijaya Karya

Gambar 2.2 Potongan beton

Secara detail diuraikan sifat beton terbagi atas dua, yaitu sifat beton dalam keadaan segar atau sesaat setelah dicampur dan sifat beton dalam keadaan keras.

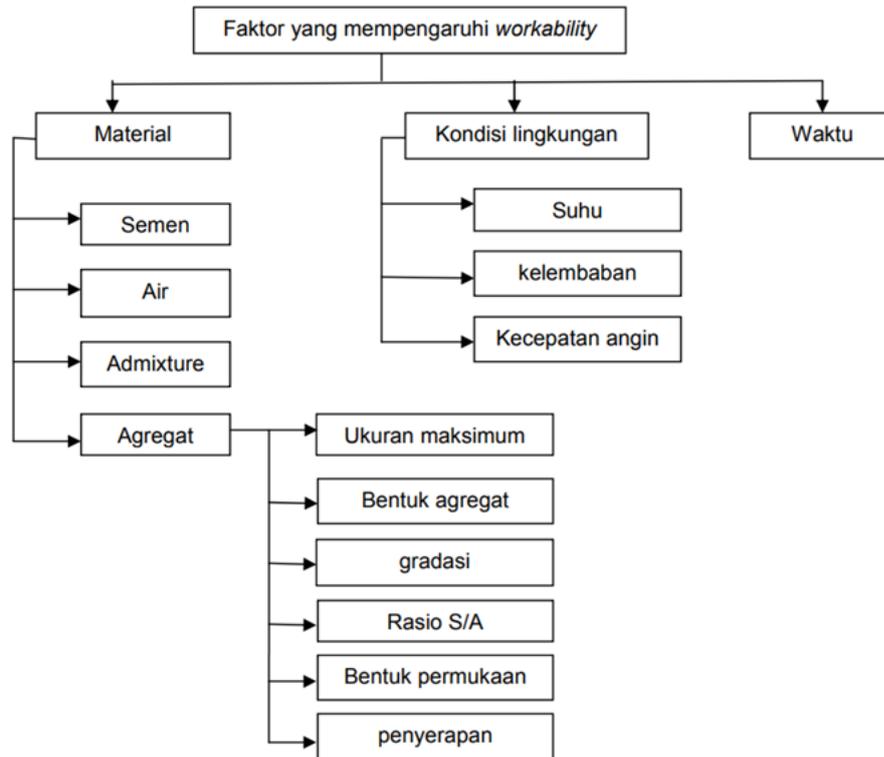
2.2.1.1 Sifat Beton Segar

Sifat beton dalam keadaan segar atau sesaat setelah dicampur, tiga sifat yang penting yang harus selalu diperhatikan adalah kemudahan pengerjaan (*workability*), Pemisahan Agregat (*segregasi*), dan pemisahan air (*bleeding*).

1. Kemudahan pengerjaan (*workability*)

Sifat ini merupakan ukuran dari tingkat kemudahan adukan untuk dikerjakan, diangkut, dituang dan dipadatkan. Perbandingan bahan maupun sifatnya secara bersama-sama mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan beton segar. Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan antara lain :

- a. Jumlah air, makin banyak air yang dipakai makin mudah beton segar untuk dikerjakan.
- b. Kandungan semen, makin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air, untuk memperoleh nilai FAS tetap.
- c. Gradasi campuran pasir dan kerikil, Jika campuran pasir dan kerikil memenuhi syarat yang sesuai dengan standar, maka akan lebih mudah dikerjakan.
- d. Bentuk butiran agregat kasar, agregat berbentuk bulat lebih mudah untuk dikerjakan.
- e. Butir maksimum, kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan pengerjaan, makin besar kerikil makin sulit untuk dikerjakan.
- f. Cara pemadatan dan alat pemadat, menentukan sifat pengerjaan yang berbeda. Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan jumlah air yang lebih sedikit dibandingkan dengan dipadatkan menggunakan tangan.



Gambar 2.3 Faktor yang mempengaruhi *workability* beton segar

Workability juga mengandung makna bahwa adukan mudah untuk dipadatkan sehingga rongga-rongga udara dapat dihilangkan. Meski demikian, adukan tersebut harus merupakan suatu massa yang homogen dan tidak terjadi pemisahan antara bahan penyusun. Selain itu, beton juga harus memiliki sifat mobilitas yang baik atau mudah mengalir dalam cetakan.

Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan (keenceran) adukan beton. Makin cair adukan makin mudah cara pengerjaannya. Untuk mengetahui tingkat kelecakan adukan beton biasanya dilakukan dengan percobaan slump. Percobaan dilakukan dengan alat berbentuk kerucut terpancung, yang diameter atasnya 10 cm dan diameter bawahnya 20 cm dengan tinggi 30 cm, dilengkapi dengan kuping untuk mengangkat beton segar dan tongkat pemadat diameter 16 mm sepanjang minimal 60 cm. makin besar nilai slump berarti adukan semakin encer dan mudah untuk dikerjakan. Pada umumnya nilai slump berkisar antara 5-12,5 cm.

2. Pemisahan agregat (segregasi)

Segregasi adalah kecenderungan butir-butir kasar untuk lepas dari campuran beton. Segregasi dapat terjadi karena turunnya butiran ke bagian bawah dari beton segar, atau terpisahnya agregat kasar dari campuran, akibat cara penuangan dan pemadatan yang salah. Segregasi tidak bisa diujikan sebelumnya, hanya dapat dilihat setelah semuanya terjadi. Secara nyata, kejadian segregasi beton dapat dilihat ketika pencampuran bahan yaitu nampak pemisahan antara agregat dan pasta semen. Segregasi pada beton disebabkan oleh :

- a. Campuran yang kurus atau kurang semen.
- b. Penggunaan air yang terlalu banyak.
- c. Gradasi agregat yang tidak sesuai standar.
- d. Campuran yang kasar atau kurangnya agregat halus.
- e. Tinggi jatuh pengecoran beton yang tertinggi.

Pemisahan kerikil dari adukan beton berakibat kurang baik terhadap sifat beton keras. Jika tingkat segregasi beton sangat tinggi, maka ketidaksempurnaan konstruksi beton juga tinggi. Hal ini dapat berupa keropos, terdapat lapisan yang lemah dan berpori, permukaan nampak bersisik dan tidak rata. Untuk mengurangi kecenderungan tersebut, dapat dicegah dengan hal-hal berikut :

- a. Jumlah air dan semen yang tepat.
- b. Gradasi agregat yang memenuhi syarat.
- c. Cara pengangkutan, penuangan maupun pemadatan harus mengikuti tata cara yang benar.

3. Pemisahan air (*bleeding*)

Bleeding adalah pengeluaran air dari adukan beton yang disebabkan oleh pelepasan air dari pasta semen. Sesaat setelah dicetak, air yang terkandung didalam beton segar cenderung untuk naik ke permukaan membawa semen dan butir-butir halus, naiknya air bersamaan dengan turunnya bahan ke dasar disebabkan oleh pengaruh gravitasi akibat berat sendiri. Pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk selaput (*laitance*). *Bleeding* dipengaruhi oleh :

- a. Susunan butir agregat, jika komposisinya sesuai kemungkinan untuk terjadi *bleeding* kecil.
- b. Banyaknya air, makin banyak air berarti makin besar pula kemungkinan terjadinya *bleeding*.
- c. Kecepatan hidrasi, makin cepat beton mengeras makin kecil kemungkinan terjadinya *bleeding*.
- d. Proses pemadatan yang berlebihan akan menyebabkan terjadinya *bleeding*.

Bleeding terjadi akibat ketidakmampuan bahan padat campuran untuk menangkap air pencampur. Ketika *bleeding* sedang berlangsung, air campuran terjebak di dalam kantong-kantong yang terbentuk antara agregat dan pasta semen (matriks). Sesudah *bleeding* selesai dan beton mengeras, kantong-kantong menjadi kering ketika berlangsung perawatan dalam keadaan kering. Akibatnya, apabila ada tekanan, kantong-kantong tersebut menjadi penyebab mudahnya retak pada beton dan bahan lembut semacam debu halus. Untuk mengurangi terjadinya *bleeding* maka dilakukan cara berikut :

- a. Memberi lebih banyak semen dalam campuran.
- b. Menggunakan air sesedikit mungkin.
- c. Menggunakan butir halus (pasir) lebih banyak.
- d. Menyesuaikan intensitas dan durasi penggetar sesuai dengan nilai *slump* campuran.

2.2.1.2 Sifat Beton Keras

Sifat beton dalam keadaan keras yaitu kekuatan beton, rangkai & susut, kekedapan air dan tahan lama.

1. Kekuatan beton

Beton baik dalam menahan tegangan tekan daripada jenis tegangan yang lain, dan umumnya pada perencanaan struktur beton memanfaatkan sifat ini. Karena kekuatan tekan dari beton dianggap sifat yang paling penting dalam kebanyakan kasus. Sifat kekuatan tekan merupakan sifat utama yang umum harus dimiliki oleh beton, sebab beton yang tidak cukup kekuatan tekannya menurut kebutuhannya menjadi tidak berguna. Secara

umum kekuatan beton dipengaruhi oleh dua hal yaitu faktor air semen dan kepadatannya.

Beton dengan faktor air semen kecil sampai dengan jumlah air semen cukup untuk hidrasi semen secara sempurna akan memiliki kekuatan yang optimal. Selain itu, memang untuk keadaan yang berada kuat desak beton dipengaruhi oleh banyak hal, misalnya sifat semen, sifat agregat, kepadatan, perbandingan antara bahan batuan dan semen dan sebagainya.

Kuat tarik beton berkisar $1/18$ kuat tekan beton saat umurnya masih muda dan menjadi $1/20$ sesudahnya. Kuat tarik berperan penting dalam menahan retak-retak akibat perubahan kadar air dan suhu. Di dalam prakteknya, kuat tekan dan tarik selalu diikuti oleh kuat geser.

2. Rangkak dan susut

Setelah beton mulai mengeras, beton akan mengalami pembebanan. Pada beton yang menahan beban akan terbentuk suatu hubungan tegangan dan regangan yang merupakan fungsi dari waktu pembebanan. Beton menunjukkan sifat elastisitas murni pada waktu pembebanan singkat, sedangkan pada pembebanan yang tidak singkat beton akan mengalami regangan dan tegangan sesuai dengan lama pembebanannya.

Rangkak adalah peningkatan deformasi (regangan) secara bertahap terhadap waktu akibat beban yang bekerja secara konstan. Deformasi awal akibat pembebanan disebut sebagai regangan elastis, sedangkan regangan tambahan akibat beban yang sama disebut regangan rangkak. Rangkak timbul dengan intensitas yang semakin berkurang setelah selang waktu tertentu dan kemungkinan berakhir setelah beberapa tahun. Besarnya rangkak berbanding terbalik dengan kekuatan beton. Rangkak akan lebih besar bila faktor air semen semakin besar. Agregat memberi pengaruh menghambat penyusutan.

Susut adalah perubahan volume yang tidak berhubungan dengan beban, jika terjadi kehilangan kandungan uap air akibat penguapan. Jika dihalangi secara merata, proses susut dalam beton akan menimbulkan deformasi yang umumnya bersifat menambah deformasi rangkak.

Proses rangkak selalu dihubungkan dengan susut karena keduanya terjadi bersamaan dan sering kali memberikan pengaruh yang sama terhadap deformasi. Pada umumnya, beton yang semakin tahan terhadap susut akan mempunyai kecenderungan rangkak yang rendah, sebab kedua fenomena ini berhubungan dengan proses hidrasi pasta semen. Rangkak dipengaruhi oleh komposisi beton, kondisi lingkungan, ukuran benda uji atau elemen struktur. Pada prinsipnya rangkak merupakan fenomena bergantung pada beban sebagai fungsi waktu. Faktor-faktor yang mempengaruhi rangkak dan susut adalah sebagai berikut :

- a. Sifat bahan dasar beton (komposisi dan kehalusan semen, kualitas adukan, dan kandungan mineral dalam agregat).
- b. Rasio air terhadap jumlah semen (*water cement ratio*).
- c. Suhu pada saat pengerasan (*temperature*).
- d. Kelembaban nisbi pada saat proses penggunaan (*humidity*).
- e. Umur beton pada saat beban bekerja.
- f. Nilai *slump* (*slump test*).
- g. Lama pembebanan.
- h. Nilai tegangan.
- i. Nilai rasio permukaan komponen struktur.

3. Kekedapan air

Proses pengeringan beton, jumlah air yang dipakai tidak seluruhnya digunakan dalam proses hidrasi. Dimana hidrasi adalah reaksi kimia antara partikel semen dan air yang menghasilkan pasta semen atau bahan pengikat. Sebagian air terlepas sebagai *bleeding* dan menyebabkan terjadinya rongga akibat adanya gelembung-gelembung udara yang terbentuk selama atau sesudah pencetakan.

4. Tahan lama (durabilitas)

Durabilitas adalah kemampuan beton untuk menahan cuaca, serangan kimia, abrasi, atau proses kerusakan lain, dengan demikian durabilitas beton akan mempertahankan bentuk asli, kualitas dan kemampuan layan saat terepose di lingkungan. Sifat ini terkait dengan kerusakan yang terjadi akibat kondisi lingkungan. Kerusakan tersebut dapat berupa

kerusakan visual seperti perubahan warna dan tekstur atau dapat pula berupa kerusakan mekanis seperti penurunan kekuatannya

2.3 Material Penyusun Beton

2.3.1 Semen

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 portland adalah material halus yang terdiri dari bahan-bahan campuran utama seperti kapur, silika, aluminium, besi, dan gypsum. Semen disebut juga bahan pengikat hidrolis karena jika semen berhubungan dengan air akan menjadi bahan campuran yang aktif secara kimiawi. Dalam campuran beton, pasta terbuat dari campuran semen dan air kemudian akan mengeras, dan dalam keadaan terikat agregat akan menghasilkan beton yang keras dan kuat. Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton, penyesuaian harus dilakukan terhadap rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan. Oleh karena itu, meskipun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, tetapi sangatlah penting karena berperan sebagai pengikat.

Semen yang satu dapat dibedakan dengan semen lainnya berdasarkan susunan kimianya maupun kehalusan butirnya. Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen portland adalah kapur (CaO) sekitar 60%-65%, silika (SiO₂) sekitar 20%-25%, dan oksida besi serta alumina (Fe₂O₃ dan Al₂O₃) sekitar 7%-12%. Sifat-sifat semen portland dapat dibedakan menjadi dua, yaitu sifat fisika dan sifat kimia.

2.3.1.1 Sifat Fisika Semen

Sifat-sifat fisika semen meliputi kehalusan butir, waktu pengikatan, panas hidrasi, perubahan volume (kekalan) dan kekuatan tekan.

1. Kehalusan semen

Semen portland harus digiling sedemikian rupa sehingga luas permukaan butirnya spesifik, tiap gramnya lebih dari 2800 cm² dan tiap gramnya seberat 280 m²kg⁻¹, dan harus lolos saringan 90 mikron. Kehalusan butir

ini berhubungan erat dengan proses hidrasi. Makin halus semen, makin cepat reaksinya. Demikian pula sebaliknya. Kehalusan semen portland di Indonesia pada umumnya berkisar antara 300-350 m²kg⁻¹.

2. Waktu pengikatan

Waktu ikat adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, dihitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu ikat semen dibedakan menjadi dua yaitu :

- a. Waktu ikat awal (*initial setting time*) yaitu waktu dari pencampuran semen dengan air menjadi pasta semen yang mulai kaku dan mulai tidak dapat dikerjakan (kehilangan sebagian sifat plastisnya). Waktu pengikatan awal berkisar 1-2 jam, tetapi tidak boleh kurang dari 1 jam. Waktu ini sangat penting pada kontrol pekerjaan beton. Untuk kasus-kasus tertentu, diperlukan untuk transportasi (*hauling*), penuangan (*dumping/pouring*), pemadatan (*vibrating*) dan penyelesaian (*finishing*).
- b. Waktu ikatan akhir (*final setting time*) yaitu waktu antara terbentuknya pasta semen hingga beton mengeras. Waktu pengikatan akhir tidak boleh lebih dari 8 jam.

Proses ikatan disertai perubahan suhu yang dimulai terjadi sejak ikatan awal dan mencapai puncaknya pada waktu berakhirnya ikatan akhir. Waktu ikatan akan memendek karena naiknya suhu sebesar 30° C atau lebih. Waktu ikatan ini sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang dipakai dan oleh lingkungan sekitarnya. Pengikatan semu diukur dengan alat "Vicat" atau "Gilmore". Pengikatan semu untuk persentase penetrasi akhir minimum pada semua jenis semen adalah 50%.

3. Panas hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air, dinyatakan dalam kalori/gram. Jumlah panas yang dibentuk antara lain bergantung pada jenis semen yang dipakai dan kehalusan butir semen. Pada pelaksanaan, perkembangan panas ini menimbulkan retakan pada

saat pendinginan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pendinginan melalui perawatan (*curing*) pada saat pelaksanaan.

4. Perubahan volume (kekalan)

Kekalan pasta semen yang telah mengeras merupakan suatu ukuran yang menyatakan kemampuan pengembangan bahan-bahan campuran dan kemampuan untuk mempertahankan volume setelah pengikatan terjadi. Ketidakkekalan semen disebabkan oleh terlalu banyaknya jumlah kapur bebas yang pembakarannya tidak sempurna serta magnesia yang terdapat dalam campuran tersebut. Alat uji untuk menentukan nilai kekalan semen portland adalah menggunakan cara ASTM “*Autoclave Expansion of Portland Cement*”.

5. Kekuatan tekan

Kekuatan tekan semen diuji dengan cara membuat mortar yang kemudian ditekan sampai hancur. Bila memperhatikan kuat tekan mortar ini akan jelas terlihat lambat atau cepatnya, perkembangan kekuatan semen terhadap umurnya.

2.3.1.2 Sifat Kimia Semen

Sifat-sifat kimia semen meliputi senyawa kimia dan sifat kimia.

1. Senyawa kimia

Secara garis besar, ada empat senyawa kimia utama yang menyusun semen portland, yaitu :

- a. Trikalsium Silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_3S .
- b. Dikalsium Silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_2S .
- c. Trikalsium Aluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_3A .
- d. Tetrakalsium Aluminoferrit ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_4AF .

2. Sifat kimia

Sifat kimia semen meliputi kesegaran semen, sisa yang tak larut, dan yang paling utama adalah komposisi syarat yang diberikan.

- a. Kesegaran semen, kehilangan berat dari semen merupakan ukuran dari kesegaran semen. Pemeriksaan kesegaran semen dilakukan dengan cara mengambil satu gram semen dan menempatkannya

dalam platina bertemperatur 900^o-1000^o C, selama 5 menit. Dalam keadaan normal, akan terjadi kehilangan berat sekitar 2% (batas maksimum 4%).

- b. Sifat yang tak larut, sisa bahan yang tak habis bereaksi adalah sisa bahan tak aktif yang terdapat pada semen. Semakin sedikit sisa bahan ini, semakin baik kualitas semen. Jumlah maksimum sisa tak larut yang dipersyaratkan adalah 0,85%.
- c. Panas hidrasi semen, hidrasi terjadi jika semen bersentuhan dengan air. Proses hidrasi terjadi dengan arah kedalam dan keluar. Maksudnya, hasil hidrasi mengendap di bagian luar, semen bagian dalam belum terhidrasi secara bertahap akan terhidrasi sehingga volumenya mengecil (susut). Reaksi ini berlangsung lambat (sekitar 2-8 jam) sebelum mengalami percepatan setelah kulit permukaan pecah.
- d. Kekuatan pasta semen, banyaknya air yang dipakai selama proses hidrasi akan mempengaruhi karakteristik kekuatan beton jadi. Pada dasarnya jumlah air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi tersebut adalah sekitar 25% dari berat semen. Jika air yang digunakan kurang dari 25%, maka kelecakan atau kemudahan dalam pengerjaan tidak dapat dicapai. Kekuatan beton akan turun jika air yang ditambahkan ke dalam campuran semakin banyak. Karena itu penambahan air harus dilakukan sedikit demi sedikit sampai nilai maksimum yang tercantum dalam rencana tercapai

2.3.1.3 Jenis-jenis Semen

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah persentase empat komponen utama, semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya. Menurut SNI 2049-2015 membagi semen portland menjadi :

1. Jenis I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

2. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Jenis V yaitu semen portland dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.3.2 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.

2.3.3 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% volume mortar atau beton. Walaupun namanya hanya pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar/betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar/beton. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada di antara agregat berukuran besar. Agregat terdiri dari dua jenis yaitu :

1. Agregat kasar (kerikil, batu pecah atau pecahan dari blast furnace)
2. Agregat halus (pasir alami atau batuan)

Karena agregat merupakan bahan yang terbanyak didalam beton, maka semakin banyak persen agregat dalam campuran akan semakin murah harga beton. Dengan syarat campurannya masih cukup mudah dikerjakan untuk elemen struktur yang memakai beton tersebut.

2.3.3.1 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. (SNI 03-2834-2000).

Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap desintegrasi beton, cuaca dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan sel semen. Jenis-jenis agregat kasar yang umum yaitu :

1. 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.

2. Kerikil alami

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

3. Agregat kasar buatan

Kemungkinan pemakaian benda limbah padat buangan sebagai bahan pengganti akhir-akhir ini banyak dibicarakan. Hal ini sebenarnya bukan konsep yang baru. Limbah padat ini dapat berupa kaleng-kaleng bekas, bahan-bahan bekas bongkaran bangunan maupun sampah padat dari hasil limbah industri maupun limbah rumah tangga. Sebelum barang ini dipakai sebaiknya ditinjau aspek ekonomi keuntungan penggunaan bahan-bahan ini dibandingkan dengan pemakaian agregat alami. Harus pula dipertimbangkan aspek teknisnya, yang meliputi pengerjaan dan kekuatan beton yang akan dihasilkan.

4. Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat

Dengan adanya tuntunan 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. Pada beton demikian syarat ekonomis maupun syarat kemudahan pengerjaan tidak begitu menentukan. Agregat kasar yang diklasifikasikan disini, misalnya batu pecah, barit, magnetik dan limonit. Sifat-sifat beton penahan radiasi yang berbobot berat ini bergantung pada kerapatan, hampir tidak bergantung pada seklor air sampai semennya. Dalam hal demikian,

kerapatan yang tinggi merupakan satu-satunya kriteria disamping kerapatan dan kekuatannya.

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.

2.3.3.2 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.

2.3.4 Limbah Karet Sol

Karet sol adalah komponen alas kaki bagian bawah yang terletak pada bagian terluar, terbuat dari kompon karet (campuran bahan karet dan/ karet sintetis dengan bahan-bahan kimia) dengan sistem cetak vulkanisasi. Komposisi bahan kompon karet sol terdiri dari karet alam, karet sintetis (SBR), asam stearat, ZnO, mineral B, filler carbon black, MBTS, PBN, dan sulfur.

Sandal adalah salah satu tipe alas kaki yang terus bertahan sampai saat ini dan merupakan salah satu jenis alas kaki yang biasa digunakan di negara-negara yang berhawa panas. Di beberapa negara sandal sudah ada sejak beribu tahun sebelum masehi dengan berbagai model tali maupun ban (*band*) serta mempunyai ornamen yang indah. Pada prinsipnya sandal terdiri dari sol sebagai alas dengan satu atau beberapa tali (*straps*) maupun ban (*band*) yang menutup jari kaki atau menyilang. Berdasarkan definisi tersebut, sandal dapat bervariasi mulai sandal dengan sol kayu (sandal kesehatan) sampai sandal wanita dengan sol dan hak serta dekorasi pada ban ataupun talinya. Apabila sandal mempunyai bentuk tali atau ban lebar sehingga bagian atas sandal menjadi tertutup, maka disebut sebagai

sepatu. Sebaliknya sepatu yang mempunyai banyak lubang atau celah sehingga bagian atas sepatu relatif terbuka maka disebut sandal.

Sol merupakan bagian yang penting dan menentukan kualitas dari alas kaki tersebut. Sol sandal dapat dibuat dari karet alam, karet sintetis atau campurannya. Karet alam merupakan polimer dengan unit isopren dan mempunyai berat molekul antara 200.000-400.000. Karet alam terkenal karena kekuatan (*strength*) dari vulkanisatnya seperti tegangan putus (*tensile strength*), kekuatan sobek (*tear strength*) dan ketahanan kikis (*abrasion resistance*). Disamping itu sifat penting karet alam lainnya adalah elastisitasnya bila rantai molekulnya makin panjang. Molekul panjang pada umumnya tidak lurus, tetapi melingkar seperti spiral dan hal inilah yang menyebabkan karet dapat ditarik dalam batas-batas tertentu.

Karet sintetis styrene butadiene (SBR) mempunyai berat molekul antara 250.000-800.000 dan merupakan polimer yang terdiri dari unit butadiene dan styrene. Berbeda dengan karet alam maka gum vulkanisat SBR mempunyai tegangan putus dan ketahanan robek rendah. Akan tetapi penambahan filler aktif seperti carbon black maupun white filler yang bersifat aktif dapat meningkatkan sifat mekanik setara dengan vulkanisat dari karet alam. Penggunaan filler silikat akan memberikan ketahanan kikis yang tinggi dan meningkatkan ketahanan sobek. Sifat-sifat mekanik vulkanisat SBR dipengaruhi oleh jumlah dan jenis filler.

Karet sol memiliki sifat fisik dan kekuatan sebagai berikut :

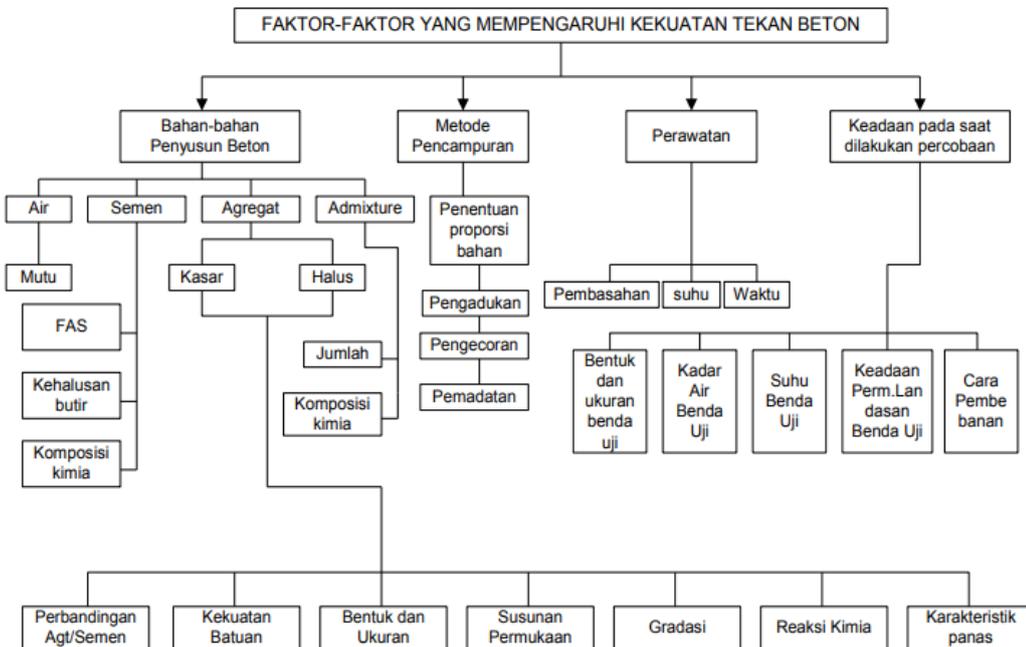
1. Tegangan putus 50 kg/cm^2
2. Perpanjangan putus 100%
3. Kekerasan 65-80 Shore A
4. Ketahanan sobek 30 kg/cm^2
5. Bobot jenis maks $1,5 \text{ g/cm}^3$
6. Perpanjangan tetap maks 10%
7. Ketahanan kikis graseli mm^2/kgm
8. Ketahanan retak lentur 150 kcs = tidak retak

Dalam penelitian ini limbah karet sol yang merupakan sisa potongan sol karet untuk pembuatan alas kaki digunakan sebagai substitusi atau pengganti agregat kasar pada campuran beton dalam jumlah persentase tertentu.

2.4 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.



Sumber : Mulyono, 2019

Gambar 2.4 Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan beton

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton dari material penyusunnya ditentukan oleh faktor air semen, porositas dan faktor-faktor intrinsik lainnya seperti kekuatan agregat, kekuatan pasta semen, kekuatan ikatan atau ikatan antara semen dengan agregat.

Perilaku mekanik beton keras merupakan kemampuan beton di dalam memikul beban pada struktur bangunan. Kinerja beton keras yang baik ditunjukkan oleh kuat tekan beton yang tinggi, kuat tarik yang lebih baik, perilaku

yang lebih daktil, kedap air dan udara, ketahanan terhadap sulfat dan klorida penyusutan rendah dan keawetan jangka panjang.

2.4.1 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan salah satu andalan utama bahan ini. Kekuatan (*strength*) adalah kemampuan suatu bahan untuk memikul tegangan (*stress*) sampai runtuh. Dalam beton proses keruntuhan ditandai dengan terjadinya retak-retak mikro. Kuat tekan beton jauh lebih tinggi bila dibandingkan kuat tariknya, dengan demikian pemanfaatan beton terutama diarahkan pada sifat tekan tersebut. Kuat tekan beton selalu ditentukan pada umur 28 hari.

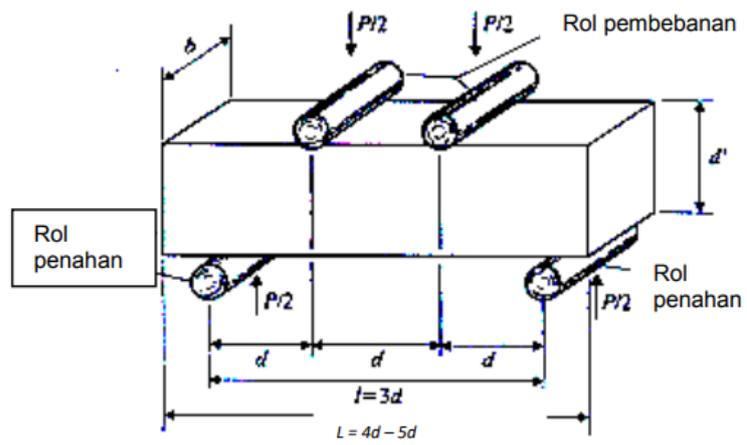
Komponen beton dapat dipandang sebagai bahan komposit yang terbangun dari tiga elemen yaitu agregat, mortar dan daerah antarmuka (*interface*). Ketiga komponen tersebut akan mempengaruhi kuat tekan beton yang terbentuk. Sifat masing-masing komponen yang membangun kuat tekan beton.

2.4.2 Kuat Lentur Beton

Pada prinsipnya struktur beton pada bangunan sipil harus mampu menahan gaya yang bekerja seperti tekan dan lentur yang diakibatkan oleh energi dari luar seperti angin dan gempa pada bangunan gedung, tekanan air dan gempa pada bangunan air, tekanan kendaraan pada jembatan dan sebagainya.

Struktur beton harus aman terhadap gaya-gaya tersebut. Untuk itu maka struktur beton harus memenuhi syarat tertentu agar bangunan tidak mengalami kegagalan, tetap stabil dan aman. Agar struktur beton aman terhadap gaya lentur yang bekerja, beton harus mempunyai kuat lentur tertentu sesuai dengan yang disyaratkan.

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (Mpa) gaya tiap satuan luas. Kuat tarik lentur disebut juga kuat tarik tidak langsung sebagai alternatif karena sulitnya melakukan uji kuat tarik dengan gaya aksial secara langsung. Untuk menentukan kekuatan lentur contoh uji beton melalui pengujian balok sederhana yang dibebani pada dua titik pembebanan (SNI 4431:2011).



Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum, 2017

Gambar 2.5 Benda uji balok untuk uji kuat lentur