

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Definisi Beton

Beton adalah material konstruksi yang dihasilkan dari pencampuran pasir, batu pecah, semen dan air. Biasanya, beberapa macam bahan tambah dicampurkan ke dalam campuran tersebut dengan tujuan memperbaiki sifat-sifat dari beton yaitu untuk meningkatkan *workability*, *durability*, serta waktu pengerasan beton. Seiring dengan bertambahnya waktu, campuran beton tersebut akan menjadi keras seperti batuan dan memiliki kuat tekan yang tinggi namun kuat tariknya rendah (Setiawan, 2016).

Beton hanya membutuhkan sedikit pemeliharaan. Beton sering digunakan dalam pekerjaan teknik sipil karena memiliki banyak kelebihan diantaranya tahan terhadap serangan api, tahan terhadap serangan korosi, mudah dibentuk, mampu memikul beban yang berat dengan umur rencana yang lama dibandingkan dengan perkerasan lentur, dan juga biaya pemeliharaan yang relatif kecil. Beton juga memiliki kekurangan yaitu mengalami deformasi yang tergantung pada waktu dan disertai dengan penyusutan akibat mengeringnya beton (Mulyono, 2004).

2.2 Kelebihan & Kekurangan Beton

Secara umum, beton mempunyai kelebihan dan kekurangan adalah sebagai berikut :

2.2.1 Kelebihan Beton

Beton mempunyai kelebihan (Nurlina, 2008) antara lain yaitu :

1. Mudah dicetak karena beton akan dicor ketika masih cair dan dapat menahan beban ketika telah mengeras.
2. Ekonomis menjadi salah satu pertimbangan yang sangat penting yaitu meliputi material, kemudahan dalam pelaksanaan, waktu untuk konstruksi, pemeliharaan struktur dan daktilitas.
3. Tahan lama dan awet serta biaya pemeliharaan yang rendah.
4. Tahan terhadap serangan api.
5. Penyediaan material yang mudah.

2.2.2 Kekurangan Beton

Beton juga mempunyai kekurangan (Nurlina, 2008) antara lain yaitu:

1. Kekuatan tarik rendah sehingga beton mudah retak.
2. Memerlukan biaya untuk bekisting, perancah yang digunakan untuk beton cor ditempat yang tidak sedikit jumlahnya.
3. Kekuatan per satuan berat atau satuan volume yang relatif rendah. Oleh karena itu, struktur beton membutuhkan berat yang lebih banyak.
4. Daktilitas rendah.
5. Volume tidak stabil, tergantung waktu, rangkai dan susut.

2.3 Klasifikasi Beton

2.3.1 Mutu Beton

Klasifikasi beton berdasarkan mutu beton (Departemen Pekerjaan Umum, 2002) dibagi menjadi beberapa jenis antara lain :

Tabel 2.1 Klasifikasi Beton Berdasarkan Mutu Beton

Jenis Beton	f_c' (MPa)	σ_{bk}' (Kg/cm ²)	Kegunaan
Mutu Tinggi	35 – 65	K400 - K800	Digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang beton prategang, gelagar beton prategang, pelat beton prategang dan sejenisnya.
Mutu Sedang	20 - <35	K250 - < K400	Digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, kerb, beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang dan bangunan bawah jembatan.
Mutu Rendah	15 - < 20	K175 - < K250	Digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar dan pasangan batu kosong yang diisi adukan dan pasangan batu.
	10 - < 15	K125 - < K175	Digunakan sebagai lantai kerja dan penimbunan kembali dengan beton.

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2002

2.3.2 Jenis Beton

Klasifikasi beton berdasarkan jenis beton (Mulyono, 2004) dibagi menjadi beberapa jenis antara lain :

1. Beton Ringan

Berat jenis agregat ringan sekitar 1900 kg/m^3 atau berdasarkan penggunaan strukturnya berkisar antara $1440\text{-}1850 \text{ kg/m}^3$, dan dengan kekuatan tekan umur 28 hari lebih besar dari $17,2 \text{ MPa}$.

2. Beton Normal

Beton normal merupakan beton yang terdiri dari campuran batu kerikil, pasir, air dan semen yang memiliki berat isi 2400 kg/m^3 .

3. Beton Berat

Beton berat merupakan beton yang dihasilkan dari agregat yang mempunyai berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari 2400 kg/m^3 . Beton berat digunakan untuk menahan radiasi dan menahan benturan. Beton berat menggunakan agregat yang mempunyai berat jenis yang besar, biasanya lebih dari 4,0 dibandingkan dengan agregat biasa dengan berat jenis 2,6.

4. Beton Massa (*Mass Concrete*)

Beton massa merupakan beton yang digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan masif misalnya untuk bendungan, kanal, pondasi jembatan, dll. Pelaksanaan membutuhkan alat getar dan manpower yang banyak karena rendahnya nilai slump maka panas hidrasi menjadi penting agar tidak terjadi retak-retak.

5. *Ferro-Cement*

Ferro-Cement merupakan bahan gabungan yang diperoleh dari campuran beton dengan tulangan kawat yang dianyam. Beton jenis ini memiliki kekuatan tarik dan keuletan yang lebih tinggi, serta lebih tahan air. Keuntungan dari *Ferro-Cement* adalah strukturnya yang ringan dan tipis, kemudahan dalam pengerjaan dan penghematan pada bahan cetakan.

6. *Beton Serat (fibre concrete)*

Beton Serat (*fibre concrete*) merupakan campuran beton yang ditambah serat yang biasanya berupa batang-batang dengan ukuran 5-500 μm dengan panjang sekitar 25 mm. Bahan serat berupa seras asbestos, serat plastik (poly-propylene), atau potongan kawat baja. Kelemahan dari beton serat adalah sulit dikerjakan, tetapi lebih banyak kelebihanannya antara lain kemungkinan terjadi segregasi kecil, daktil dan tahan akan benturan.

2.4 Bahan Penyusun Beton

2.4.1 Semen

Semen yang biasa dipakai untuk beton disebut semen portland (PC), karena setelah mengeras mirip batu portland yang ada di Inggris. 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 15-2049-2004, 2004).

Komponen utama pada semen portland terdiri dari batu kapur yang mengandung CaO (kapur, lime) dan lempung yang mengandung komponen SiO₂ (silica), Al₂O₃ (oksida alumina), Fe₂O₃ (oksida besi). Proses hidrasi semen yaitu apabila semen akan bereaksi ketika dicampur dengan air dan akan mulai membentuk pasta yang secara perlahan dan akan mengeras menjadi suatu massa yang padat. Proses pasta semen secara berangsur-angsur mengeras hingga kaku untuk menahan suatu tekanan. Waktu ikat semen adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai proses tersebut. Waktu ikat semen menjadi dua macam yaitu waktu ikat awal (*initial time*) dan waktu ikat akhir (*final setting time*) (Setiawan, 2016).

Sifat Fisik Semen Portland

Sifat fisik semen portland (Mulyono, 2004) antara lain yaitu :

a. Kehalusan Butir (Fineness)

Kehalusan butir semen sangat mempengaruhi proses hidrasi. Waktu pengikatan menjadi semakin lama apabila butiran semen lebih kasar. Semakin halus butiran semen, maka proses hidrasinya semakin cepat, sehingga kekuatan awal tinggi dan kekuatan akhir akan berkurang.

b. Kepadatan (Density)

Berat jenis semen yang diisyaratkan oleh ASTM. Pengujian berat jenis dilakukan menggunakan *Le Chatelier Flask* menurut standar ASTM C-188.

c. Konsistensi

Konsistensi semen portland lebih banyak pengaruhnya pada saat pencampuran awal, saat terjadi pengikatan sampai pada saat beton mengeras.

d. Waktu Pengikatan

Waktu pengikatan merupakan waktu yang dibutuhkan semen untuk mengeras dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen sampai pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan.

e. Panas Hidrasi

Panas hidrasi merupakan panas yang terjadi ketika semen bereaksi dengan air. Pengaruh panas ini dapat mengakibatkan timbulnya retakan pada saat pendinginan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pendinginan melalui perawatan (*curing*) pada saat pelaksanaan.

f. Perubahan Volume (Kekalan)

Kekalan pasta semen yang telah mengeras merupakan suatu ukuran yang digunakan untuk menyatakan kemampuan pengembangan bahan-bahan campuran dan kemampuan untuk mempertahankan volume setelah terjadi pengikatan.

g. Kekuatan Tekan

Kekuatan tekan semen diuji dengan membuat mortar yang kemudian ditekan sampai hancur. Setelah berumur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari yang telah mengalami perawatan dan perendaman, benda uji tersebut diuji kekuatannya.

1. Sifat Kimia Semen Portland

Ketika semen dicampur dengan air, menimbulkan reaksi kimia antara campuran-campurannya dengan air. Reaksi-reaksi ini menghasilkan bermacam-macam senyawa yang menyebabkan pengerasan. Senyawa kimia utama penyusun semen portland (Setiawan, 2016) antara lain yaitu:

- a. Tricalcium Silikat (tiga molekul kapur pada satu silikat) C_3S atau $3CaO.SiO_2$
- b. Dikalsium Silikat yang disingkat menjadi C_2S atau $2CaO.SiO_2$
- c. Tricalcium Aluminate (tiga molekul kapur terikat pada satu alumina) C_3A atau $3CaO.Al_2O_3$
- d. Tertrakalsium Aluminoferrit yang disingkat menjadi C_4AF atau $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

Tricalcium Silikat dan Dikalsium Silikat adalah bagian terpenting dari semen yang berfungsi sebagai memberikan kekuatan pada semen.

2. Jenis dan Penggunaan Semen Portland

Menurut SNI 15-2049-2004, semen portland dibagi menjadi beberapa jenis antara lain :

- a. Jenis I yaitu semen portland digunakan untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- b. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.

- c. Jenis III yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- e. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.4.2 Agregat

Agregat merupakan material granular misalnya pasir, kerikil, batu pecah dan kerak tungku pijar yang digunakan bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidraulik (SNI 03-2834-2000, 2000).

Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian yang penting dalam pembuatan beton. Berdasarkan ukuran besar butirannya, agregat yang dipakai dalam adukan beton dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu agregat halus dan agregat kasar yang didapat secara alami atau buatan. Agregat halus meliputi pasir alami dan pasir buatan. Sedangkan, agregat kasar meliputi kerikil, batu pecah, atau pecahan-pecahan dari *blast furnace*.

1. Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam yang dihasilkan dari desintegrasi secara alami dari batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir sebesar 5,0 mm (SNI 03-2834-2000, 2000). Kegunaan agregat halus yaitu untuk mengisi ruangan antara butir agregat kasar dan memberikan kelecakan.

Menurut SNI 03-2847-2002, syarat-syarat agregat halus untuk campuran beton adalah sebagai berikut :

- a. Kadar lumpur untuk beton yang mengalami abrasi maksimum 3%, sedangkan untuk beton jenis lainnya maksimum 5%.
- b. Bebas dari zat organik yang dapat merugikan beton.
- c. Kandungan arang dan lignit.
- d. Tidak boleh mengandung bahan yang reaktif terhadap alkali apabila agregat halus digunakan untuk membuat beton yang akan mengalami basah dan lembab secara terus-menerus.
- e. Sifat kekal dapat diuji dengan menggunakan larutan garam sulfat. Apabila dipakai Natrium Sulfat, bagian hancur maksimum 10%, sedangkan apabila dipakai Magnesium Sulfat, bagian hancur maksimum 15%.
- f. Susunan besar butir (grading)

Agregat halus harus mempunyai susunan besar butir dalam batas-batas sebagai berikut :

Tabel 2.2 Presentase Lolos Agregat Halus pada Ayakan

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Persen Lolos Kumulatif
9,60	100
4,80	95 – 100
2,40	80 – 100
1,20	50 – 85
0,60	25 – 60
0,30	10 – 30
0,15	2 – 10

Sumber : SNI 03-2847-2002, 2002

Agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos lebih dari 45% pada suatu ukuran ayakan dan tertahan pada ayakan berikutnya. Modulus kehalusan tidak boleh kurang dari 2,3 dan lebih dari 3,1.

2. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan kerikil yang dihasilkan dari desintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm (SNI 03-2834-2000, 2000). Agregat kasar merupakan agregat dengan ukuran butiran butiran lebih lebih besar besar dari dari saringan saringan No.8 (2,36 mm).

Menurut SNI 03-2847-2002, syarat-syarat agregat kasar untuk campuran beton adalah sebagai berikut :

- a. Kerikil atau batu pecah terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori serta bersifat kekal yang artinya tidak pecah karena pengaruh cuaca seperti sinar matahari dan hujan. Agregat yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat digunakan apabila jumlah butir-butir pipih tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya.

- b. Tidak boleh mengandung bahan yang reaktif terhadap alkali apabila agregat kasar digunakan untuk membuat beton yang akan mengalami basah dan lembab secara terus menerus atau yang berhubungan dengan tanah basah.
- c. Sifat kekal dapat diuji dengan menggunakan larutan jenuh garam sulfat. Apabila dipakai Natrium Sulfat, maka bagian yang hancur maksimum 12% dari berat agregat. Sedangkan, apabila dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12% dari berat agregat.
- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton.
- e. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dan apabila mengandung lebih dari 1% maka agregat kasar tersebut harus dicuci.
- f. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang besarnya beraneka ragam. Besar butir agregat kasar maksimum tidak boleh lebih daripada $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, $\frac{1}{3}$ dari tebal pelat atau $\frac{3}{4}$ dari jarak bersih minimum antara batang-batang atau berkas tulangan.

2.4.3 Air

Air sangat diperlukan dalam pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya. Air pada campuran beton akan berpengaruh pada mutu beton, sifat *workability* adukan beton, besar kecilnya nilai susut beton dan kelangsungan reaksi hidrasi semen portland (Nurlina, 2008).

Syarat umum air yang akan digunakan sebagai campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, zat organis atau bahan lainnya yang dapat merusak beton dan tulangnya. Sebaiknya menggunakan air tawar yang dapat diminum (Mulyono, 2004).

Faktor air berpengaruh dalam pembuatan beton, karena air dapat bereaksi dengan semen dan akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton, apabila air yang ditambahkan berlebihan maka akan menyebabkan penurunan pada kekuatan beton. Selain itu, kelebihan air juga akan menurunkan mutu dan mengakibatkan beton mengalami *bleding*, yaitu air akan bergerak ke atas permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang.

2.4.4 Bahan Pengganti Agregat Kasar (Limbah Beton)

Dalam konstruksi, beton siap pakai biasanya sering terjadi kelebihan pasokan pada saat di lapangan dan sisanya hanya dibuang. Limbah beton yang tidak diolah akan menimbulkan masalah tersendiri bagi lingkungan, karena pembuangan limbah juga membutuhkan biaya dan tempat pembuangan (Budiman, 2019).



Gambar 2.1 Limbah Beton
Sumber : Data Penulis, 2020

Limbah beton merupakan sisa-sisa yang dihasilkan dari suatu proses penghancuran struktur beton yang bisa didapatkan dari pembangunan. Menggunakan kembali buangan limbah beton akan mengurangi pembuangan secara percuma dan dapat memberikan inovasi untuk tidak bergantung pada material baru. Proses daur ulang limbah beton yaitu dengan cara menghancurkan menjadi agregat kasar yang digunakan sebagai bahan substitusi berupa batu pecah.



Gambar 2.2 Limbah Beton Setelah Dihancurkan
Sumber : Data Penulis, 2020

2.4.5 Bahan Tambah

Bahan tambah (*admixtures*) merupakan bahan-bahan yang akan ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat pencampuran berlangsung. Fungsi dari bahan tambah adalah untuk mengubah sifat-sifat dan karakteristik dari beton misalnya agar mudah dikerjakan, menghemat biaya dan penghematan energi.

1. Bahan Tambah Kimia (*Admixtures*)

Bahan tambah yang dapat larut dalam air digolongkan *chemical admixtures*. *Chemical admixtures* biasanya digunakan dalam jumlah yang sedikit pada campuran beton. Tujuan penggunaannya untuk memperbaiki sifat – sifat tertentu dari campuran.

Jenis bahan tambah kimia (Mulyono, 2004) adalah sebagai berikut :

a. Tipe A (*Water Reducing Admixture*)

Bahan tambahan yang mengurangi air dalam pencampuran yang diperlukan menghasilkan beton dengan konsentrasi tertentu.

b. Tipe B (*Retarding Admixtures*)

Bahan tambah yang berfungsi untuk menghemat waktu pengikatan beton dan menunda waktu pengikatan beton (*setting time*).

c. Tipe C (*Accelerating Admixtures*)

Bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengembangan dan pengikatan kekuatan awal beton.

d. Tipe D (*Water Reducing and Retarding Admixtures*)

Bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

e. Tipe E (*Water Reducing and Accelerating Admixtures*)

Bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

f. Tipe F (*Water Reducing High Range Admixtures*)

Bahan tambah yang digunakan untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih.

g. Tipe G (*Water Reducing High Range Retarding Admixtures*)

Bahan tambah yang digunakan untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton.

2. Bahan Tambah Mineral (*Mineral Admixtures*)

Mineral Admixtures dapat bersifat semen, *pozzolanik* atau kedua-duanya. Bahan ini dapat digunakan sebagai bahan penganti sebagai berat semen dalam campuran beton. Contohnya: *silica fame*, abu terbang (*fly ash*), bahan *pozzolan* dan bahan-bahan bersifat semen.

Keuntungan menggunakan bahan tambah mineral adalah :

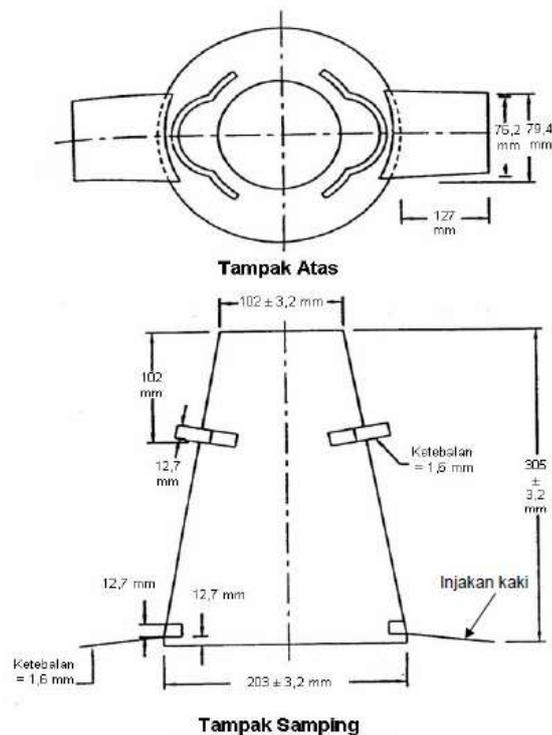
- a. Memperbaiki kinerja *workability*.
- b. Mengurangi panas hidrasi.
- c. Mengurangi penyusutan.
- d. Mempertinggi kekuatan tekan beton.
- e. Mengurangi porositas dan daya serap air dalam beton.
- f. Mengurangi biaya pekerjaan beton.
- g. Mempertinggi daya terhadap serangan sulfat.
- h. Mempertinggi daya tahan terhadap serangan reaksi alkali-silika.
- i. Mempertinggi keawetan beton.
- j. Mempertinggi usia beton.

2.5 Slump Beton

Slump beton merupakan penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji slump diangkat. Alat uji yang digunakan harus berupa sebuah cetakan yang terbuat dari bahan logam yang tidak lengket dan tidak bereaksi dengan pasta semen. Menurut SNI 1972-2008, ketebalan logam tidak boleh lebih kecil dari 1,5 mm dan bila dibentuk dengan proses pemutaran, maka tidak boleh ada titik dalam cetakan yang ketebalannya lebih kecil 1,15 mm.

Cetakan harus berbentuk kerucut terpancung dengan diameter dasar 203 mm, diameter 102 mm dan tinggi 305 mm. Permukaan dasar dan permukaan atas kerucut harus terbuka dan sejajar satu dengan yang lain serta tegak lurus terhadap sumbu kerucut. Batas toleransi masing-masing diameter dan tinggi kerucut harus dalam rentang 3,2 mm dari ukuran yang telah ditetapkan.

Cetakan harus dilengkapi dengan bagian injakan kaki dan untuk pegangan. Bagian dalam dari cetakan relatif harus licin dan halus, bebas dari lekukan, deformasi atau mortar yang melekat. Cetakan harus dipasang secara kokoh di atas pelat dasar yang tidak menyerap air. Pelat dasar juga harus cukup luas agar dapat menampung adukan beton setelah mengalami slump. Batang penusuk harus merupakan suatu batang baja yang lurus, penampang lingkaran dengan diameter 16 mm dan panjang sekira 600 mm, memiliki salah satu atau kedua ujung berbentuk bulat setengah bola dengan diameter 16 mm.



Gambar 2.3 Cetakan untuk Uji Slump (Kerucut Abram)

Sumber : SNI-1972-2008 Cara Uji Slump Beton, 2008

Nilai slump dalam satuan milimeter hingga ketelitian 5 mm terdekat.

Nilai Slump = Tinggi alat slump – Tinggi beton setelah terjadi penurunan

2.6 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton yang disyaratkan f'_c adalah kuat tekan yang ditetapkan oleh perencana struktur (berdasarkan benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm). Kuat tekan beton ditentukan oleh perbandingan antara semen, agregat halus, agregat kasar dan air dari berbagai jenis campuran. Nilai kuat tekan beton dihasilkan melalui pengujian standar dengan menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan sampai hancur (SNI 03-2834-2000, 2000).

Kontribusi yang diberikan semen terhadap peningkatan kekuatan beton terdapat tiga faktor (Mulyono, 2004) antara lain :

1. Faktor Air Semen (FAS)

Semakin tinggi nilai FAS, semakin rendah mutu kekuatan beton. Nilai FAS yang semakin rendah tidak berarti juga kekuatan beton semakin tinggi. Nilai FAS yang terlalu rendah menyebabkan pengerjaan mengalami kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan dan akan menyebabkan mutu beton menurun.

2. Kehalusan Butir Semen

Kehalusan butir semen merupakan sifat fisika dari semen. Semakin halus butiran semen, proses hidrasi semen akan semakin cepat sehingga kekuatan beton akan lebih cepat tercapai. Semakin halus butiran semen, maka waktu yang dibutuhkan semen untuk mengeras akan lebih cepat.

3. Komposisi Kimia

Komposisi kimia semen akan menyebabkan perbedaan dari sifat-sifat semen. Apabila beton menggunakan bahan kimia untuk mempercepat waktu pengikatan maka senyawa kimia C_3S pada semen harus diperbanyak.

Kuat tekan beton dapat dihitung dengan persamaan :

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

keterangan :

f_c' = kuat tekan beton dengan benda uji silinder (MPa atau N/mm^2)

P_{max} = beban tekan maksimum/gaya tekan aksial (N)

A = luas penampang melintang benda uji (mm^2)

2.7 Hasil Penelitian Terdahulu

Dari hasil literatur yang telah dilakukan serta untuk mengetahui nilai kebaruan penelitian ini, maka didapatkan hasil penelitian sebagai berikut :

1. Penelitian yang dilakukan oleh Soelarso, Baehaki, dan Nur Fatah Sidik, dengan judul “Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas” yang telah diterbitkan dalam Jurnal Fondasi, Volume 5 No 2, 2016, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Dari hasil penelitian diketahui bahwa penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar berpengaruh pada kuat tekan dan modulus elastisitas. Semakin besar penggunaan limbah beton, maka semakin besar juga penurunan yang terjadi pada nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton. Kuat tekan cenderung menurun seiring dengan bertambahnya persentase agregat limbah beton dengan rata-rata penurunan terendah terjadi pada proporsi limbah beton 25% sebesar 45,39%, proporsi limbah beton 50% sebesar 56,99%, proporsi limbah beton 75% sebesar 61,65% dan penurunan terbesar pada proporsi limbah beton 100% sebesar 66,62%. Sedangkan, Modulus elastisitas cenderung menurun seiring dengan bertambahnya presentase agregat limbah beton dengan rata-rata penurunan terendah terjadi pada proporsi 25% sebesar 77,35%, proporsi limbah beton 50% sebesar 77,45%, proporsi limbah beton 75% sebesar 79,26% dan penurunan pada proporsi 100% sebesar 79,12% (Soelarso, 2016).

2. Penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Syarif, Chandra Setyawan, Ida Farida, dengan judul “Analisa Uji Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambahan Batu Bata Merah” yang telah diterbitkan dalam Jurnal Kontruksi, Volume 14, No 1 (2016) Sekolah Tinggi Teknologi Garut, ISSN : 2302-7312, Hal 46-56. Dari hasil penelitian diketahui beton dengan menggunakan campuran 10%, 25% dan 50% hasil rata-rata sesuai dengan acuan beton pembanding (K-200). Hasil uji kuat tekan limbah batu bata merah 50% campurannya tidak lebih dari 10% dan 25%. Sehingga beton untuk campuran 10% dan 25% menjadi acuan kedepannya sebagai campuran limbah tambahan yang baik untuk pembuatan beton (Syarif, 2016).
3. Penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Ghufron Ismail, Andhi Mustofa, Arum Dwicahyani, Muhammad Mahfuzh Ridlo, dan Kusno Adi Sambowo, dengan judul “Pengaruh Beton Daur Ulang Dan Bahan Tambah Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton Struktural Ramah Lingkungan” yang telah diterbitkan dalam Jurnal Riset Rekayasa Sipil, Volume 1, No 1 (2017) Universitas Sebelas Maret 1 September 2017, ISSN : 2579-7999, Hal 59-63. Dari hasil penelitian diketahui bahwa penggunaan agregat limbah tiang pancang kadar 50% sebagai pengganti agregat normal dan fly ash menghasilkan kuat tekan yang paling optimum. Sedangkan, Penggunaan beton modifikasi fly ash dan limbah tiang pancang kadar 75% menghasilkan kuat lentur yang paling optimum. Sehingga, limbah agregat daur ulang tiang pancang layak dijadikan sebagai campuran beton struktural (Ismail, 2017).

4. Penelitian ini dilakukan oleh Adytia Eko Sutrisno dan Dwi Kartikasari, dengan judul “Pengaruh Penambahan Abu Jerami Padi Terhadap Kuat Tekan Beton” yang telah diterbitkan dalam Jurnal CIVILLa Vol 2 No 2 September 2017, ISSN No. 2503 - 2399, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Lamongan. Dari hasil penelitian diketahui bahwa penggunaan abu jerami padi pada campuran beton dengan variasi penambahan 0%, 5%, 10% dan 15% dari berat semen berdampak terhadap penurunan nilai kuat tekan beton. Nilai kuat tekan yang diperoleh pada umur 28 hari yaitu 18.440 MPa, 15.366 MPa, 13.948 MPa dan 12.530 MPa (Sutrisno, 2017).
5. Penelitian ini dilakukan oleh Richo Dwi Saputra dan Rasio Hepiyanto, dengan judul “Pengaruh Air PDAM, Laut, Comberan Pada Proses Curing Terhadap Kuat Tekan Beton Fc 14,53 MPa” yang telah diterbitkan dalam Jurnal CIVILLa Vol 2 No 2 September 2017, ISSN No. 2503 – 2399, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Lamongan. Dari hasil penelitian diketahui bahwa pada umur 7 hari untuk nilai kuat tekan maksimum pada air PDAM, air laut, air comberan secara berturut-turut sebesar 13,522 MPa, 8,759 MPa, 10,296 MPa. Nilai kuat tekan air PDAM pada umur 7 hari mengalami kenaikan dibandingkan nilai kuat tekan air laut dan air comberan, sedangkan nilai kuat tekan air laut mengalami penurunan dibandingkan dengan air comberan yang mengalami kenaikan. Sehingga nilai kuat tekan yang tertinggi berada air PDAM pada umur 7 hari (Saputra, 2017).

6. Penelitian yang dilakukan oleh Asmadi Suria, Ipank Neneng, Wan Alamsyah, dengan judul "Pemanfaatan Limbah Pecahan Keramik Sebagai Agregat Kasar Campuran Dan Pengaruhnya Terhadap Kuat Tekan Beton" yang telah diterbitkan oleh Jurutera, Volume 04, No 01 (2017) Universitas Samudra, 4 November 2017, ISSN : 2356-5438D29, Hal 16-24. Dari hasil penelitian diketahui bahwa beton dengan agregat kasar limbah pecahan keramik memiliki berat volume yang lebih kecil dan serapan air yang lebih besar dibanding beton normal. Kuat tekan beton normal 28 hari adalah sebesar 30,10 MPa, setelah mengganti agregat kasar dengan pecahan keramik maka terjadi penurunan pada kuat tekan beton, pecahan keramik 10% pada umur 28 hari menunjukkan hasil kuat tekan beton sebesar 23,95 MPa, hingga perbandingan pecahan keramik 40% pada umur 28 hari menunjukkan hasil kuat tekan sebesar 18,44 MPa (Suria, 2012).
7. Penelitian yang dilakukan oleh Lukito Prasetyo, dengan judul "Pengaruh Variasi Gradasi Limbah Beton Sebagai Bahan Pengganti Agregat Terhadap Kuat Tekan Beton" yang telah diterbitkan laporannya dalam bentuk Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA) 2018, ISSN (Cetak) 2527-6042, eISSN (Online) 2527-6050, Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Malang. Dari hasil penelitian diketahui bahwa pemakaian limbah beton pasir kasar mempunyai nilai kuat tekan lebih baik, yaitu sebesar 15.377 MPa dibandingkan dengan pemakaian limbah beton pasir halus yang sebesar 13.101 MPa (Prasetyo, 2018).

8. Penelitian ini dilakukan oleh Bobby Damara dan Zulkifli Lubis, dengan judul “Pengaruh Penambahan Limbah B3 Pada Kuat Tekan Beton Mutu K-175” yang telah diterbitkan dalam Jurnal CIVILLa Vol 3 No 1 Maret 2018, ISSN No. 2503 – 2399, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Lamongan. Dari hasil penelitian diketahui bahwa penggunaan campuran ampas karbit dengan komposisi 5% kuat tekan rata-rata sebesar 249,69 kg/cm² dengan kenaikan sebesar 1,77% dibanding beton normal yang mencapai tegangan hancur rata-rata 245,34 (Damara, 2018).
9. Penelitian yang dilakukan oleh M. Rifki Andri Saputro dan Rasio Hepiyanto, dengan judul “Penambahan Serbuk Limbah Batu Kumpang pada Campuran Beton”, yang telah diterbitkan dalam Jurnal CIVILLa Vol 3 No 1 Maret 2018, ISSN No. 2503-2399, Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan. Dari hasil penelitian diketahui bahwa persentase penambahan serbuk limbah batu kumpang sebesar 5% kuat tekan mengalami kenaikan paling optimum. Sedangkan pada penambahan serbuk limbah batu kumpang sebesar 10% kuat tekan menjadi menurun. Hal ini terjadi karena pengikatan semen menjadi berkurang akibat terlalu banyak penambahan serbuk limbah batu kumpang dan bahan tambah memiliki ketentuan optimum untuk dapat meningkatkan kuat tekan beton. Kuat tekan rata-rata tertinggi terdapat pada presentase penambahan 5% serbuk limbah batu kumpang sebesar 18,20 MPa pada umur 28 hari, dengan kuat tekan rencana sebesar f_c' 14,53 MPa (Saputro, 2018).

10. Penelitian yang dilakukan oleh I Gusti Made Sudika, I Gusti Ngurah Eka Partama dan I Gede Surya Dinata, dengan judul “Analisis Limbah Benda Uji Beton Untuk Mensubstitusi Agregat Kasar Pada Campuran Beton” yang telah diterbitkan dalam *Gradien* Vol. 11, No. 1, April 2019, Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Ngurah Rai. Dari hasil penelitian diketahui bahwa substitusi limbah beton mengakibatkan penurunan kuat tekan, tetapi kuat tekan beton meningkat pada persentase kadar agregat 25% sebesar 3,30% pada umur 14 hari dan 4,67% pada umur 28 hari. Sedangkan, kuat tarik belah mengalami peningkatan pada persentase kadar agregat 25% sebesar 4,66% pada umur 14 hari dan 1,34% pada umur 28 hari (Sudika, 2019).
11. Penelitian yang dilakukan oleh Agata Iwan Candra dan Eko Siswanto, dengan judul “Rekayasa Job Mix Beton Ringan Menggunakan Hydroton dan Master Ease 5010” yang telah diterbitkan *Jurnal CIVILLA* Vol 3 No 2 September 2018, ISSN No. 2503-2399, Program Studi Teknik Sipil Universitas Kadiri. Dari hasil penelitian diketahui bahwa beton ringan memiliki tingkat efisiensi lebih jika dibandingkan dengan beton konvensional pada umumnya memiliki nilai tekan lebih tinggi daripada beton ringan, beton konvensional pada umumnya memiliki berat jenis 2200 kg/m^3 dan beton ringan berbahan hydroton yang kita teliti memiliki berat jenis 1700 kg/m^3 . Berat beton ringan berbahan dasar hydroton jauh lebih ringan dan efisien jika dibandingkan dengan beton konvensional. Untuk peningkatan dari nilai kuat tekan struktur beton ringan masih dapat disempurnakan (Candra, 2018).

12. Penelitian yang dilakukan oleh Budiman, dengan judul “Limbah Beton Sebagai Material Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Karakteristik” yang telah diterbitkan dalam INTEK Jurnal Penelitian, 2019, Volume 6 (2): 145-149, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Fakfak. Dari hasil penelitian diketahui bahwa penggunaan limbah mortar dari bongkahan bangunan yang disubstitusi pada campuran beton mempengaruhi nilai kuat tekan karakteristik beton. Dimana nilai kuat tekan beton meningkat pada substitusi limbah mortar 60%. Nilai kuat tekan karakteristik beton dengan substitusi limbah mortar 50% dan 60% masing-masing diperoleh kuat tekan karakteristik 57,24 kg/cm² dan 101,03 kg/cm² jika dibandingkan dengan nilai kuat tekan tanpa limbah mortar diperoleh 86,14 kg/cm² mengalami penurunan sebesar 33,55% dengan substitusi limbah mortar 50% dan meningkat sebesar 14,89% dengan substitusi limbah mortar 60% (Budiman, 2019).
13. Penelitian ini dilakukan oleh Romadhon dan Suwarno, dengan judul “Uji Kualitas Beton K-250 Menggunakan Limbah Genteng dan Bubuk Silika Untuk Campuran Semen dan Pasir Sungai” yang telah diterbitkan dalam Jurnal CIVILLA Vol 4 No 2 September 2019, ISSN No. 2503-2399 Universitas Kadiri. Dari hasil penelitian diketahui bahwa kuat tekan yang paling tinggi dihasilkan oleh beton dengan penambahan masing-masing 10% pada sampel 2 yang mencapai K-258 sedangkan hasil yang paling rendah dihasilkan oleh beton dengan penambahan masing-masing 20% pada sampel 3 yang mencapai K-226 (Romadhon, 2019).

14. Penelitian yang dilakukan oleh Supratikno, Ratnanik, dengan judul "Pemanfaatan Limbah Plastik sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Campuran Beton" yang telah diterbitkan dalam Jurnal Teknik Sipil, Volume 6, No 1 (2019), Universitas Widya Dharma, 24 Januari 2019, ISSN : 2354-8452, Hal 21-29. Dari hasil penelitian diketahui bahwa pengaruh agregat olahan limbah plastik sebagai pengganti sebagian atau keseluruhan agregat kasar batu pecah beton ditinjau dari kuat tekan. Dan tentunya merupakan salah satu inovasi baru di dunia Teknik Sipil Struktur. Hasil pengujian sifat beton yang ditinjau menunjukkan bahwa, nilai Kuat Tekan Beton maksimal adalah sebesar 12,24 MPa mengalami penurunan Kuat Tekan beton sebesar 63,81% (100% olahan limbah plastik) terhadap variasi penambahan olahan limbah plastik (Supratikno, 2019).
15. Penelitian ini dilakukan oleh Rio Rahma Dhana, dengan judul "Analisis Pengaruh Pemakaian Material Kerikil Gunung Kecamatan Mantup dan Serat Alami Eceng Gondok Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton" yang telah diterbitkan dalam Jurnal CIVILLa Vol 4 No 1 Maret 2019, ISSN No. 2503-2399, Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan. Dari hasil penelitian diketahui bahwa nilai kuat tekan yang diperoleh pada umur 7 hari yaitu 0% (6,51 MPa), 4% (4,62 MPa), 6% (3,96%) dan 8% (2,64 MPa). Sedangkan nilai kuat tekan yang diperoleh pada umur 28 hari yaitu 0% (9,30 MPa), 4% (6,61 MPa), 6% (5,66 MPa) dan 8% (3,77 MPa) (Dhana, 2019).

16. Penelitian ini dilakukan oleh Suwarno dan Fauzie Nursandah, dengan judul “Pemanfaatan Limbah Keramik Sebagai Pengganti Koral pada Campuran Beton Mutu Tinggi” yang telah diterbitkan dalam Jurnal CIVILLa Vol 4 No 2 September 2019, ISSN No. 2503-2399, Program Studi Teknik Sipil Universitas Kadiri. Dari hasil penelitian diketahui bahwa kadar pengganti pecahan limbah keramik sebagai agregat kasar yang optimum adalah sebesar 25% dari berat volume yang menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar K-342,374. Pada hasil penelitian dengan variasi penambahan limbah keramik 0% sebesar K-329,259, 25% sebesar K-342,374, 50% sebesar K-312,702 dan 75% K-282,167 (Suwarno, 2019).
17. Penelitian ini dilakukan oleh Ki Catur Budi, Agata Iwan Candra, Dwifi Aprillia Karisma, Saiful Muslimin dan Sudjati, dengan judul “Pengaruh Metode Perawatan Beton Dengan Suhu Normal Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi” yang telah diterbitkan dalam Jurnal CIVILLa Vol 5 No 2 September 2020, ISSN No. 2503-2399, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kadiri. Dari hasil penelitian diketahui bahwa beton yang tidak dilakukan perawatan memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 34,61 MPa dan belum mampu melebihi mutu awal beton sebesar 36,6 MPa. Beton yang dilakukan perawatan dengan cara direndam pada bak curing didapat kuat tekan rata-rata sebesar 38,15 dan telah mampu melebihi mutu awal beton. Beton yang dilakukan perawatan dengan cara disiram didapat kuat tekan rata-rata sebesar 35,64 dan belum mampu melebihi mutu awal beton (Budi, 2020).

18. Penelitian ini dilakukan oleh Agata Iwan Candra, Suwarno, Heri Wahyudiono, Sulik Anam dan Dwifi, dengan judul “Kuat Tekan Beton Fc’ 21,7 MPa Menggunakan Water Reducing and High Range Admixtures” yang telah diterbitkan dalam Jurnal CIVILLA Vol 5 No 1 Maret 2020, ISSN No. 2503-2399 Universitas Kadiri. Dari hasil penelitian diketahui bahwa penambahan admixture Master Ease mampu meningkatkan kuat tekan beton dan mengurangi jumlah penggunaan air. Dengan penambahan *Admixture Master Ease* presentase 1.5% mampu mengurangi penggunaan air sebanyak 19% sedangkan presentase 3% mampu mengurangi jumlah penggunaan air sebanyak 34%. Penambahan *Admixture Master Ease* dengan presentase 1.5% didapat kuat tekan sebesar 31.41 MPa sedangkan presentase 3% didapat kuat tekan sebesar 28.69 MPa. Penambahan *Admixture Master Ease* dengan presentase 1.5% menghasilkan nilai slump sebesar 0.9 sedangkan presentase 3% menghasilkan nilai slump sebesar 1.3 cm (Candra, 2020).
19. Penelitian ini dilakukan oleh Azwanda dan Chaira, dengan judul “Analisis Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang dengan Campuran Pasir Besi” yang telah diterbitkan dalam Jurnal CIVILLA Vol 5 No 1 Maret 2020, ISSN No. 2503-2399, Program Studi Teknik Sipil Universitas Teuku Umar. Dari hasil penelitian diketahui bahwa kapasitas lentur dan tegangan-regangan beton dengan substitusi agregat pasir besi dapat diklasifikasikan kepada beton normal yang bersifat agak lentur. Balok dengan substitusi agregat pasir besi meningkatkan nilai lendutan balok beton normal. Pola retak pada balok substitusi agregat pasir besi lebih banyak jumlahnya dimana retak muncul

secara perlahan serta memiliki ukuran yang lebih pendek dibandingkan dengan balok beton normal. Balok beton bertulang dengan substitusi agregat halus juga dapat memperlambat terjadinya retak awal pada balok beton bertulang normal (Azwanda, 2020).

20. Penelitian ini dilakukan oleh Lissa Opirina, Dewi Purnamasari dan Rona Reskuna, dengan judul “Kuat Tekan Beton dengan Substitusi Limbah Pengolahan Kelapa Sawit” yang telah diterbitkan dalam Jurnal CIVILLa Vol 5 No 1 Maret 2020, ISSN No. 2503-2399, Program Studi Teknik Sipil Universitas Teuku Umar. Dari hasil penelitian diketahui bahwa hasil slump test menunjukkan adanya penurunan tinggi nilai slump dengan penambahan serat dengan abu kerak boiler. Semakin tinggi presentase serat yang digunakan akan semakin tinggi penyerapan air beton. Hasil penelitian menunjukkan persentase berat optimum campuran serat tandan kosong kelapa sawit dengan abu kerak boiler dalam campuran beton berada 8% sebesar 30,57 MPa yaitu masuk dalam kuat tekan rencana beton 25 MPa (Opirina, 2020).

2.8 Posisi Penelitian

Persamaan dari penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang yaitu sama-sama menggunakan limbah beton sebagai agregat kasar untuk mencari nilai kuat tekan beton serta mengetahui proporsi kadar yang optimum. Sedangkan, Perbedaan dari penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang yaitu penelitian sekarang lebih mengarah pada kuat tekan beton mutu K-250 dan menggunakan limbah bongkahan beton dari jalan tol sebagai substitusi agregat kasar.