

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peneliti Terdahulu

Penelitian ini didapat dari beberapa referensi jurnal peneliti terdahulu seperti yang dilakukan oleh Fansuri dan Diana (2020) dalam jurnalnya yang berjudul “Pengaruh Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Limbah Serbuk Besi sebagai Admixture Agregat Halus” membuat kesimpulan bahwa pada pengujian kuat tekan beton terdapat pengaruh yang cukup signifikan dengan adanya penambahan serbuk besi namun penambahan serbuk besi yang terlalu berlebihan juga tidak baik karena dapat mengurangi kekuatan beton itu sendiri. Penelitian ini dilakukan pada beton bermutu 20 MPa yang diberi limbah serbuk besi dengan variasi 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari berat agregat halus. Berdasarkan penelitian ini penggunaannya serbuk besi baik adalah variasi 10%, 20% dan 30% dengan kuat tekan beton karakteristik optimum 21,42 N/mm² dan pengaruh sebesar 26%-60%.

Purwanto dan Wardani (2020) dalam jurnalnya yang berjudul “Pengaruh Penambahan Serbuk Besi Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu K225” membuat kesimpulan bahwa dari analisis yang dilakukan pada beton yang menggunakan bahan tambah limbah serbuk besi terjadi penurunan kuat tekan beton setelah dilakukan penambahan serbuk besi dengan takaran 5%, 10% dan 15%. Pada penelitian ini, didapatkan kuat tekan beton normal pada umur 28 hari sebesar 241,17 kg/cm² dan melebihi mutu beton rencana yaitu 225 kg/cm². Setelah dilakukan penambahan limbah serbuk besi sebesar 5%, 10% dan 15% dari berat agregat halusnya menghasilkan kuat tekan beton berturut-turut sebesar 218,5 kg/cm², 217,59 kg/cm² dan 216,23 kg/cm². Dari hasil uji kuat tekan beton tersebut terjadi penurunan di setiap penambahan campuran limbah serbuk besi terhadap beton normal, sehingga mutu beton semakin menurun dari mutu beton rencana K-225. Dalam hal ini perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan takaran penambahan serbuk besi di bawah 5% dari berat agregat halusnya.

Yudha Apriyadi (2020) dalam jurnalnya yang berjudul “Pemanfaatan Limbah Serbuk Besi Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus Pada Campuran Beton

dengan Faktor Air Semen (FAS) 0,4". Pada penelitian ini serbuk besi yang digunakan sebesar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dengan umur beton 49 hari. Dari hasil pengujian didapatkan nilai kuat tekan beton optimum pada variasi serbuk besi 25% dengan nilai kuat tekan beton 29,724 MPa dan nilai kuat tekan beton terendah pada variasi 100% dengan nilai 25,949 MPa.

Yongki Tri Setiawan (2020) dalam jurnalnya yang berjudul "Analisis Kuat Tekan Beton Menggunakan Serbuk Besi Sebagai Penambahan Campuran Agregat Halus Terhadap Beton Normal Kuat Tekan Rencana (f'_c 25 MPa)". Dari hasil pengujian ini diketahui bahwa penambahan agregat halus pada campuran beton normal dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton. Terjadi kenaikan nilai kuat tekan beton umur 7 hari pada variasi 10%, 20% dan 30% berurutan menjadi 24,3 MPa, 25,8 Mpa, dan terjadi penurunan pada beton persentase dengan persentase 80% dan 100% yang diperoleh nilai kuat tekannya 23,4 MPa dan 21,4 MPa. Terjadi kenaikan nilai kuat tekan beton umum 14 hari pada variasi 10%, 20% dan 30% berurutan menjadi 24,7 MPa, 26,5 Mpa dan 30,6 Mpa dan terjadi penurunan pada beton dengan persentase 100% yang diperoleh nilai kuat tekannya 23,6%.

Fakhri Rahmadillah Syaihu (2022) dalam jurnalnya yang berjudul "Pengaruh Penggunaan Serbuk Besi Sebagai Pengganti Sebagian Pasir Pada Beton Terhadap Kuat Tekan Beton". Pada penelitian ini serbuk besi yang digunakan sebesar 1,5%, 3% dan 4,5%. Dari hasil pengujian kuat tekan beton pada variasi 1,5%, 3% dan 4,5% nilai kuat tekan masing-masing sebesar 25,924 MPa, 28,018 MPa dan 31,078 MPa. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa nilai kuat tekan terus meningkat seiring dengan penambahan serbuk besi. Hal ini menyebabkan trendline nilai kuat tekan beton terus naik sehingga masih belum menemukan titik optimumnya. Maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan takaran limbah serbuk besi yang berbeda.

2.2 Beton

Beton didefinisikan sebagai campuran dari bahan penyusun yang terdiri dari bahan semen hidrolik (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah (*admixture* atau *additive*).

DPULPMB memberikan definisi tentang beton sebagai campuran antara semen atau semen hidrolik yang lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk massa padat (SNI -03-28472002).

Paul (2007), mengungkapkan bahwa pada beton yang baik setiap butir agregat seluruhnya terbungkus dengan mortar. Demikian pula halnya dengan ruang antar agregat, harus terisi oleh mortar. Jadi kualitas pasta atau mortar menentukan kualitas beton. Semen adalah unsur kunci dalam beton, meskipun jumlahnya hanya 7-15% dari campuran. Beton dengan jumlah semen yang sedikit (sampai 7%) disebut beton kurus (*lean concrete*), sedangkan beton dengan jumlah semen yang banyak disebut beton gemuk (*rich concrete*).

Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang lazim digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji silinder adalah tinggi 300 mm dan diameter 150 mm. tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM C39-86. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (f'_c) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan (Dipohusodo, 1996).

Terdapat beberapa karakteristik pada beton yang dapat menentukan kualitas beton. Adapun karakteristik beton yang baik disimpulkan sebagai berikut :

1. Kepadatan
2. Ruang yang ada Kekuatan

Beton harus mempunyai kekuatan dan daya tahan internal terhadap berbagai jenis kegagalan.

3. Faktor air semen

Faktor air semen harus dapat terkontrol sehingga mampu memenuhi persyaratan kekuatan beton yang telah direncanakan.

Untuk dapat mencapai kondisi seperti yang tertera di atas, maka harus ada kontrol kualitas yang baik atas faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton. Adapun parameter-parameter yang paling penting menurut Edward G Nawi (1990) adalah sebagai berikut :

1. Kualitas semen.

2. Proporsi semen terhadap air dalam campurannya.
3. Kekuatan dan kebersihan agregat.
4. Interaksi atau *adhesi* antara pasta semen dan agregat.
5. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton.
6. Penempatan yang benar, penyelesaian dan kompaksi beton segar.

Berdasarkan penyelidikan mengenai persyaratan ini membuktikan bahwa hampir semua kontrol menyangkut hal-hal sebelum dilaksanakannya pengecoran beton segar. Hal ini terjadi karena kontrol ini menyangkut penentuan komposisi dan kemudahan mekanis atau kemudahan pengangkutan dan pengecoran, maka diperlukan pemahaman dan pengetahuan mengenai teori penentuan komposisi untuk setiap pencampuran.

2.2.1 Bahan Penyusun Beton

Beton merupakan bahan bangunan yang terdiri dari semen, air dan agregat campuran (halus dan kasar) ataupun juga bisa dengan menambahkan bahan tambahan (*admixture*) dalam perbandingan tertentu. Bahan penyusun beton yang baik dapat menghasilkan kualitas beton yang baik pula.

1. Agregat Halus

Menurut SNI 03-2834-2000 agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm.

2. Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2834-2000 agregat kasar merupakan 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.

3. Semen *Portland*

Menurut SNI 15-2049-2004 semen Portland merupakan 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.

Jenis semen ini merupakan semen hidraulis yang mana semen ini akan bereaksi dengan air dan mengalami reaksi kimia yang kemudian dapat merekatkan butir-butir agregat. Istilah semen Portland berasal dari Joseph Aspdin dari Leeds pada tahun 1824. Istilah ini dibuatkan untuk menerangkan suatu paten dari semen yang dibuat dengan cara memanaskan campuran tanah liat halus dengan kapur di dalam suatu tungku sampai pada suhu tertentu yang cukup tinggi untuk membuang seluruh karbon dioksida. Penyebab semen ini disebut dengan nama semen Portland karena beton yang dihasilkan menyerupai batu Portland.

Menurut Neville (1975) semen Portland memiliki unsur-unsur pokok penyusun semen tersebut. Berikut unsur-unsur pokok penyusun semen Portland yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 di halaman selanjutnya.

Tabel 2.1 Susunan Unsur Dalam Semen

| Oksida | Persentase (%) |
|--|----------------|
| Kapur (CaO) | 60 – 65 |
| Silika (SiO ₂) | 17 - 25 |
| Alumina (Al ₂ O ₃) | 3 – 8 |
| Besi (Fe ₂ O ₃) | 0,5 – 6 |
| Magnesia (MgO) | 0,5 - 4 |
| Sulfur (SO ₃) | 1 – 2 |
| Soda / Potash (Na ₂ O + K ₂ O) | 0,5 - 1 |

Sumber : Neville (1975)

Akan tetapi pada dasarnya terdapat 4 unsur kimia yang paling penting dalam semen Portland. Empat unsur kimia tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Komposisi utama semen Portland

| Nama Unsur | Komposisi Kimia | Simbol |
|--------------------|-----------------------|------------------|
| Trikalsium Silikat | 3CaO.SiO ₂ | C ₃ S |
| Dikalsium Silikat | 2CaO.SiO ₂ | C ₂ S |

| Nama Unsur | Komposisi Kimia | Simbol |
|---------------------------|---|--------|
| Trikalsium Aluminat | $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ | C3A |
| Tetrakalsium Aluminoforit | $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ | C4AF |

Sumber : Neville (1975)

Menurut SNI 15-2049-2004 tentang semen Portland, semen Portland dibagi menjadi 5 jenis yaitu sebagai berikut :

- a. Semen Portland tipe I adalah semen Portland untuk penggunaan umum tanpa persyaratan khusus.
- b. Semen Portland tipe II adalah semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan kalor hidrasi sedang.
- c. Semen Portland tipe III adalah semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Semen Portland tipe IV adalah semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.
- e. Semen Portland tipe V adalah semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.
- f. Semen Portland yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat mutu SNI 15-2049-2004 "*Semen Portland*".

4. Air

Semen tidak dapat menjadi pasta tanpa air. Air harus ada dalam campuran beton. Di dalam campuran beton, air memiliki dua fungsi yaitu yang pertama untuk memungkinkan terjadinya reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan dan yang kedua yaitu sebagai pelicin campuran kerikil, pasir dan semen agar mudah dikerjakan dan dipadatkan (Murdock dan Brook, 1991).

Air yang diperlukan agar dapat bereaksi dengan semen hanya sekitar 25% - 30% dari berat semen nya. Akan tetapi dalam kenyataannya, jika nilai faktor air semen kecil yaitu kurang dari 0,35 adukan beton akan jadi sulit untuk

dikerjakan. Maka untuk mengatasi hal tersebut, diberi kelebihan jumlah air yang dipakai yang berfungsi sebagai pelumas. Tambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan turun dan menghasilkan beton yang *porous* (Kardiyono, 1992). Beton yang *porous* adalah beton yang memiliki pori-pori atau rongga di dalamnya.

Selain itu kelebihan air juga dapat mengakibatkan air akan keluar bersamaan dengan semen bergerak ke atas menuju permukaan adukan beton segar yang baru dituang (*bleeding*) yang kemudian akan menjadi buih yang dapat membentuk lapisan tipis (*laitance*) yang dapat mengurangi lekatan antara lapisan-lapisan beton yang merupakan bidang sambung yang lemah.

Air yang digunakan untuk campuran beton harus memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Air yang memenuhi persyaratan tersebut yaitu air bersih seperti air minum, akan tetapi tidak berarti air pencampur beton harus memenuhi persyaratan air minum. Secara umum air yang digunakan untuk campuran beton adalah air yang jika dipakai akan menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% dari kekuatan beton yang menggunakan air suling. Apabila air pencampur mortal beton terca Menurut Kardiyono (1992) air yang digunakan sebaiknya memenuhi persyaratan berikut :

- a. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gram/liter.
- b. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
- c. Tidak mengandung klorida (CL₂) lebih dari 0,5 gram/liter.
- d. Tidak mnegandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Sedangkan untuk perawatan beton dapat menggunakan air yang dipakai untuk pengadukan, akan tetapi tidak boleh menimbulkan noda atau endapan yang dapat merusak warna permukaan beton sehingga tidak enak dipandang mata karena besi dan zat organik di dalam air yang umumnya merupakan penyebab utama pengotoran dan perubahan warna pada beton terlebih jika perawatan dalam jangka waktu yang cukup lama.mpur kotoran dapat menyebabkan kekuatan beton menurun.

5. Bahan Tambah

Bahan tambah (admixture) merupakan bahan-bahan yang ditambahkan ke dalam beton pada saat atau selama pencampuran beton berlangsung yang berfungsi untuk mengubah sifat-sifat beton agar dapat meningkatkan kekuatan beton, menghemat biaya dan waktu, memudahkan pengerjaannya dan juga agar dapat menyesuaikan dengan pekerjaan tertentu dengan kondisi yang berbeda-beda. Secara umum, bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi 2 yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (chemical admixture) dan bahan tambah yang bersifat mineral (additive).

Chemical admixture menurut standar *American Society for Testing and Material* (ASTM), terdapat 7 jenis bahan tambah kimia yaitu sebagai berikut :

- a. Tipe A, water reducing admixture.
- b. Tipe B, retarding admixture.
- c. Tipe C, accelerating admixture.
- d. Tipe D, water reducing and retarding admixture.
- e. Tipe E, water reducing and accelerating admixture.
- f. Tipe F, water reducing and high range admixture.
- g. Tipe G, water reducing, high range and retarding admixture.

Selanjutnya yaitu bahan tambah mineral beton. Bahan tambah ini merupakan bahan tambah yang dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton. Beberapa contoh bahan tambah mineral ini yaitu *pozollan*, *fly ash*, *slag*, *silica fume* dan lainnya.

2.3 Serbuk Besi

Menurut Bahri S dan Irawan D. A. S (2010) serbuk besi merupakan hasil dari sisa potongan atau sisa pembubutan besi tuang/besi cor yang merupakan hasil pemakaian di industri. Besi cor merupakan perpaduan antara unsur besi yang mengandung carbon (C), silikon (S), mangan (Mg), posfor (P) dan sulfur (S). Pada besi cor biasanya memiliki kandungan karbon sebesar 2 – 6,67% sedangkan pada baja memiliki kandungan karbon hanya sampai 2%. Semakin tinggi kadar karbon yang ada pada besi cor akan mengakibatkan besi cor menjadi rapuh dan getas.

Terdapat 3 jenis besi tuang yang banyak digunakan yaitu besi tuang kelabu (*grey cast iron*), besi tuang ulet atau besi tuang nodular (*nodular cast iron*) dan besi tuang putih (*white cast iron*). Komposisi kimia yang dimiliki ketiga jenis besi tuang tersebut hampir sama.

Secara umum serbuk besi mengandung unsur kimia (Bahri S dan Irawan D.A.S, 2010) seperti tertera pada Tabel 2.3 berikut ini :

Tabel 2.3 Kandungan Kimia Pada Serbuk Besi

| Kandungan Kimia | Persentase (%) |
|-----------------|----------------|
| Silikon (Si) | 1 – 3 |
| Carbon (C) | 2 – 4 |
| Mangan (Mn) | 0,8 |
| Fospor (P) | 0,1 |
| Sulfur (S) | 0,05 |
| Besi (Fe) | sisa |

Sumber : Bahri dan Irawan (2010)

Serbuk besi berbeda dengan pasir besi. Pasir besi merupakan pasir berwarna abu hingga kehitaman yang terdapat di pantai yang mengandung mineral magnetit (Fe_3O_4) dan hematit (Fe_2O_3) yang disertai dengan mineral pengotor seperti kuarsa, piroksen, biotit, rutil, dan lain-lain. Pengotor lainnya yang biasa terdapat dalam pasir besi yaitu fosfor dan sulfur. Mineral magnetit merupakan mineral dengan kandungan besi tertinggi yaitu sebesar 72,4%. Sedangkan hematit adalah salah satu mineral yang paling melimpah di permukaan bumi maupun kerak bumi yang dangkal yang merupakan oksida besi dengan komposisi kimia Fe_2O_3 . Hematit tidak bersifat magnetik dan tidak selalu tertarik oleh magnet, akan tetapi banyak jenis dari hematit yang mengandung mineral magnetit sehingga dapat tertarik oleh magnet. Selain itu, pasir besi juga mengandung titanium, silika dan mangan. Pasir besi memiliki struktur yang lebih halus dibandingkan dengan serbuk besi. Pasir besi memiliki butiran yang sangat halus dengan ukuran antara 75 – 150 mikron.

2.4 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan merupakan kapasitas maksimum suatu material atau benda untuk menahan beban per satuan luas. Dalam SK SNI M-14-1989 E dijelaskan bahwa pengertian kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Menurut Mulyono dalam Adiguna A (2019), kuat tekan beton mengidentifikasi mutu sebuah struktur dimana semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang diinginkan, maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Kekuatan beton dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu proporsi bahan penyusun, metode pencampuran, perawatan dan keadaan pada saat pengecoran. *Curing* atau perawatan pada beton harus dilakukan dengan baik sejak beton usia dini agar proses hidrasi berjalan dengan sempurna.

Sifat dan karakteristik material penyusun beton akan mempengaruhi kinerja beton yang dibuat, dimana beton yang dibuat harus disesuaikan dengan kelas dan mutu beton (Mulyono, 2004). Menurut SNI 03-1974-1990 dalam Hamdi H dkk, (2019) beton dibagi ke dalam kelas dan mutu yang dapat dilihat pada Tabel 2.4 sebagai berikut.

Tabel 2.4 Kelas dan Mutu Beton

| Kelas Beton | Mutu Beton | Kekuatan Tekan (kg/cm ²) | Tujuan Pemakaian Beton |
|-------------|------------|--------------------------------------|---|
| I | Bo | 50 - 80 | Non-Struktural |
| II | B1 | 100 | Rumah Tinggal |
| | K125 | 125 | Perumahan |
| | K175 | 175 | Perumahan |
| | K225 | 225 | Perumahan dan Bendungan |
| III | K > 225 | >225 | Jembatan, Bendungan tinggi, Terowongan Kereta Api |

Sumber : Hamdi dkk (2019)

Benda uji beton ini diuji kuat tekannya dengan menggunakan mesin uji tekan (CTM) dengan menempatkan benda uji silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm secara tegak lurus dan diberi beban tekan secara bertahap hingga benda uji runtuh. Kuat tekan beton dapat dihitung dengan cara membagi beban maksimum dengan luas permukaan silinder benda uji atau secara matematis ditulis dengan rumus pada Persamaan 2.1 sebagai berikut.

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

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

P = beban maksimum (N), dan

A = luas permukaan benda uji (mm^2).

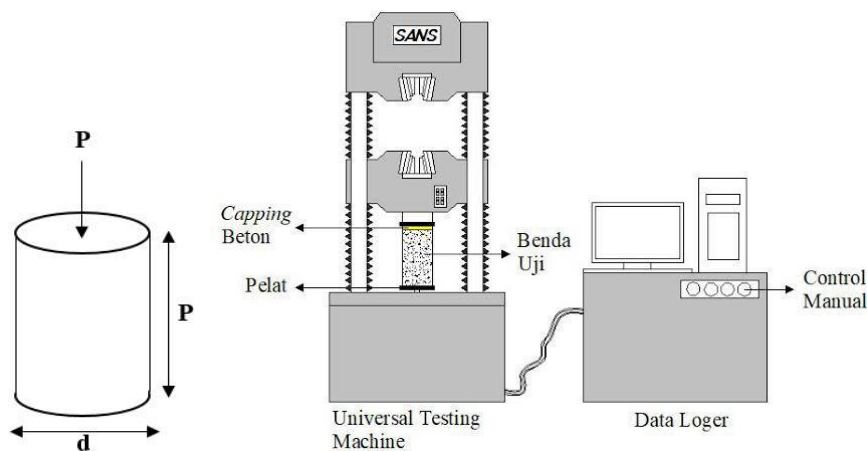
Berdasarkan dengan Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971, terdapat standar kekuatan tekan beton sesuai dengan usia beton yang dapat dilihat pada Tabel 2.5 sebagai berikut.

Tabel 2.5 Korelasi Umur dan Kuat Tekan Beton

| Usia Beton (Hari) | Kuat Tekan Beton (%) |
|-------------------|----------------------|
| 3 | 40 |
| 7 | 65 |
| 14 | 88 |
| 21 | 95 |
| 28 | 100 |
| 56 | 112,4 |

Sumber : PBI (1975)

Sketsa pengujian kuat tekan beton beserta benda uji silinder dan penempatan pada alat uji dapat dilihat pada Gambar 2.1 di halaman selanjutnya.



Gambar 2.1 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton dan Penempatan Benda Uji Pada Alat Uji (Sumber: Jurnal Matriks Teknik Sipil)

2.5 Mix Design

Mix design merupakan suatu metode pemilihan bahan campuran beton yang dilakukan dengan mempertimbangkan kuantitas atau perbandingan dari setiap material yang digunakan agar dapat menghasilkan beton dengan kualitas yang disyaratkan. Dalam proses *mix design* beton, penyusunan campuran beton dirancang untuk dua kondisi yaitu pada tahap plastis dan pada tahap perkerasan.

Tahap plastis merupakan keadaan saat bahan-bahan beton pertama kali dicampurkan sehingga teksturnya seperti adonan yang encer, lunak dan mudah untuk dibentuk. Sedangkan tahap perkerasan yaitu keadaan ketika beton mulai mengering dan mengeras. Pada tahap plastis, campuran beton harus memenuhi kriteria *workability* (mudah dibentuk), kekompakan dan memiliki waktu *setting* yang lama. Untuk tahap pengerasan, beton yang dihasilkan harus memiliki kekuatan dan daya tahan seperti yang telah ditentukan.

Persyaratan mendasar dalam memilih dan menentukan jumlah material campuran beton dalam *mix design* yaitu sebagai berikut :

1. Menentukan kuat tekan minimum yang didapat dari hasil pertimbangan struktural.
2. Menentukan kebutuhan peralatan yang memudahkan dalam proses pengerjaan, untuk keperluan pemadatan disesuaikan dengan peralatan pemadatan yang tersedia.

3. Menentukan faktor air semen (fas) maksimum dan kandungan semen maksimum agar dapat memberi ketahanan yang cukup sesuai dengan kondisi-kondisi di lokasi pengerjaan.
4. Menentukan kandungan semen maksimum untuk menghindari penyusutan, keretakan akibat siklus temperatur dalam massa beton.

Terdapat 3 metode perhitungan mix design yaitu metode ACI (*American Concrete Institute*), metode DOE (*Departement of Environment*) dan metode SNI 03-2834-2000. Pada penelitian ini, metode perhitungan mix design yang digunakan yaitu metode SNI 03-2834-2000. Adapun ketentuan yang perlu diperhatikan dalam mix design ini yaitu sebagai berikut :

1. Nilai Deviasi

Berikut ini adalah tabel yang digunakan untuk menentukan nilai deviasi standar.

Tabel 2.6 Faktor Pengali (k) Deviasi Standar

| Jumlah Pengujian | Faktor Pengali Deviasi Standar |
|------------------|--------------------------------|
| Kurang dari 15 | Lihat butir 4.2.3.1 1) (5) |
| 15 | 1,16 |
| 20 | 1,08 |
| 25 | 1,03 |
| 30 atau lebih | 1,00 |

Sumber : SNI 03-2834-2000

Catatan : bila jumlah data hasil uji kurang dari 15, maka nilai tambah (M) diambil tidak kurang dari 12 Mpa.

2. Menentukan Nilai Tambah (M)

Nilai tambah (M) didapatkan dari rumus pada Persamaan 2.2 sebagai berikut.

$$M = 1,64 \times s_r \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan :

$$M = \text{Nilai tambah (MPa)}$$

1,64 = Tetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%

S_r = deviasi standar (MPa)

3. Menentukan kuat beton rata-rata (f'_{cr})

Untuk menentukan kuat beton rata-rata (f'_{cr}) dapat dicari dengan rumus pada Persamaan 3.4 serta untuk menentukan perkiraan kuat tekan beton (MPa) dengan $f_{as} = 0,5$ dapat dilihat pada Tabel 2.7

$$f'_{cr} = f'c + M \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan :

f'_{cr} = Kuat tekan beton rata-rata (MPa)

$f'c$ = Mutu beton rencana (MPa), dan

M = Nilai tambah (MPa).

4. Menentukan jenis semen yang digunakan.

5. Penetapan jenis agregat.

6. Penetapan nilai faktor air semen (FAS)

Penetapan nilai faktor air semen diperoleh berdasarkan jenis semen, jenis agregat kasar, dan umur kekuatan tekan beton. Menurut SNI 03-2834-2000 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.7 berikut ini :

Tabel 2.7 Perkiraan kuat tekan beton dengan FAS

| Jenis Semen | Jenis Agregat Kasar | Kekuatan Tekan (Mpa) | | | | Bentuk Benda Uji |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|----|----|----|------------------|
| | | Pada Umur (hari) | | | | |
| | | 3 | 7 | 28 | 95 | |
| Semen Portland Tipe I | Batu tak dipecahkan | 17 | 23 | 33 | 40 | Silinder |
| | Batu pecah | 19 | 27 | 37 | 45 | |
| Semen Tahan Sulfat Tipe II, V | Batu tak dipecahkan | 20 | 28 | 40 | 48 | Kubus |
| | Batu pecah | 25 | 32 | 45 | 54 | |
| Semen Portland Tipe III | Batu tak dipecahkan | 21 | 28 | 38 | 44 | Silinder |
| | Batu pecah | 25 | 33 | 44 | 48 | |
| | Batu tak dipecahkan | 25 | 31 | 46 | 53 | Kubus |
| | Batu pecah | 30 | 40 | 53 | 60 | |

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Grafik hubungan antara kuat desak dan faktor air semen untuk benda uji silinder berdasarkan SNI 03-2834-2000, ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut ini:



Gambar 2.2 Grafik hubungan antara kuat desak dan faktor air semen untuk benda uji silinder (Sumber : SNI 03-2834-2000)

7. Menentukan air semen maksimum dan jumlah semen minimum. Air semen maksimum dan jumlah semen minimum dapat ditentukan sesuai dengan jenis pembetonannya, selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.8 berikut ini.

Tabel 2.8 Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air maksimum

| Lokasi | Jumlah Semen Minimum Per m ³ beton (kg) | Nilai Faktor Air Maksimum |
|---|--|---------------------------|
| Beton didalam ruang bangunan: | | |
| a. Keadaan keliling nonkorosif | 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 terik matahari langsung | 325 | 0,60 |

| Lokasi | Jumlah Semen Minimum Per m ³ beton (kg) | Nilai Faktor Air Maksimum |
|--|--|---------------------------------|
| b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung | 275 | 0,60 |
| Beton masuk kedalam tanah : | | |
| a. Mengalami kadar basah dan kering berganti-ganti | 325 | 0,55 |
| b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah | | Lihat tabel 5 (SNI03-2834-2000) |
| Beton kontinu berhubungan : | | |
| a. Air laut b. Air tawar | | Lihat tabel 6 (SNI03-2834-2000) |

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

8. Penetapan nilai slump

Penetapan nilai slump ditentukan, berupa 0-10 mm, 10-30 mm, 30-60 mm atau 60-180 mm.

9. Penetapan besar butir agregat maksimum

Penetapan besar butir maksimum agregat pada beton standar ada 3, yaitu 10 mm, 20 mm atau 40 mm.

10. Menentukan jumlah kadar air bebas

Menurut SNI 03-2834-2000, Kadar air bebas dapat ditentukan sesuai dengan ukuran besar butir agregat dan jenis agregat sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.9 berikut ini.

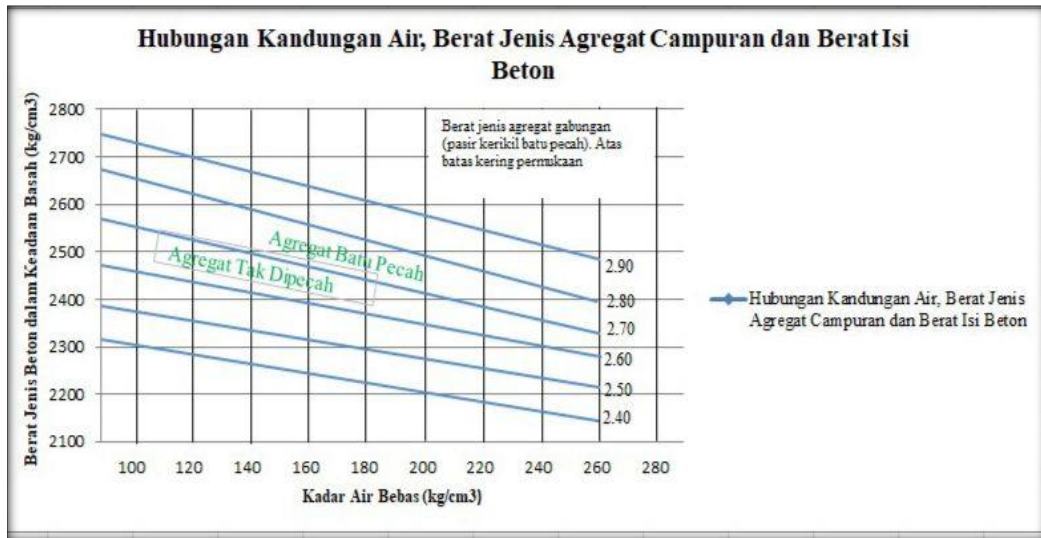
Tabel 2.9 Perkiraan kadar air bebas (kg/m³) yang dibutuhkan beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton

| Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum (mm) | Jenis Agregat | Slump (mm) | | | |
|--|------------------|------------|-------|-------|--------|
| | | 0-10 | 10-30 | 30-60 | 60-180 |
| 10 | Batu tak dipecah | 150 | 180 | 205 | 225 |
| | Batu pecah | 180 | 205 | 230 | 250 |

| Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum (mm) | Jenis Agregat | Slump (mm) | | | |
|--|------------------|------------|-------|-------|--------|
| | | 0-10 | 10-30 | 30-60 | 60-180 |
| 20 | Batu tak dipecah | 137 | 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 03-2834-2000)

11. Agregat campuran (tak pecah dan dipecah).
12. Berat semen yang diperlukan per meter kubik beton.
13. Jumlah semen maksimum jika tidak ditetapkan, dapat diabaikan.
14. Menentukan jumlah semen semimum mungkin
 Dari Tabel 2.9 tersebut dapat diperoleh jumlah semen minimum maupun nilai faktor air semen maksimum menurut kondisi beton yang akan dicetak nantinya.
15. Menentukan faktor air semen yang disesuaikan.
 Jika jumlah semen berubah karena lebih kecil dari jumlah semen minimum yang ditetapkan (atau lebih besar dari jumlah semen maksimum yang di isyaratkan), maka faktor air semen harus diperhitungkan kembali.
16. Penetapan jenis agregat halus
 Agregat halus diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu pasir kasar, agak kasar, agak halus dan pasir halus.
17. Penetapan jenis agregat kasar.
18. Proporsi berat agregat halus terhadap agregat campuran
 Proporsi berat agregat halus ditetapkan dengan cara menghubungkan kuat tekan rencana dengan faktor air semen menurut slump yang digunakan secara tegak lurus berpotongan.
19. Berat jenis agregat campuran.
20. Perkiraan berat isi beton.
 Pada perkiraan berat isi beton berdasarkan SNI 03-2834-2000 dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis Agregat Campuran dan Berat Isi Beton (Sumber : SNI 03- 2834-2000)

21. Menghitung kebutuhan berat agregat campuran.
22. Menghitung berat agregat halus yang diperlukan.

Kebutuhan agregat halus dihitung dengan rumus :

$$W_{\text{agregat halus}} = K_h \times W_{\text{agregat campuran}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

K_h = persentase berat agregat halus terhadap agregat campuran (%)

$W_{\text{agregat campuran}}$ = kebutuhan agregat campuran per meter kubik beton (kg/m^3).

23. Hitung berat agregat kasar yang diperlukan

Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan rumus:

$$W_{\text{agregat kasar}} = K_k \times W_{\text{agregat campuran}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

K_k = persentase berat agregat kasar terhadap agregat campuran (%)

$W_{\text{agregat campuran}}$ = kebutuhan agregat campuran per meter kubik beton (kg/m^3).

24. Menghitung proporsi campuran, kondisi agregat dalam kejadian jenuh kering permukaan semen, air, agregat halus dan agregat kasar harus dihitung dalam per m^3 adukan.

25. Koreksi proporsi campuran menurut perhitungan:

Apabila agregat tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan proporsi campuran harus dikoreksi terhadap kandungan air dalam agregat. Koreksi proporsi campuran harus dilakukan terhadap kadar air dalam agregat paling sedikit satu kali dalam sehari dan harus dihitung menurut rumus sebagai berikut :

$$a. \text{ Air} = B - (Ck - Ca) \times \frac{C}{100} - (Dk - Da) \times \frac{D}{100} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$b. \text{ Agregat Halus} = C + (Ck - Ca) \times \frac{C}{100} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$c. \text{ Agregat Kasar} = D + (Dk - Da) \times \frac{C}{100} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

B = jumlah air (kg/m³)

C = agregat halus (kg/m³)

D = jumlah agregat kasar (kg/m³)

Ca = penyerapan air pada agregat halus (%)

Da = penyerapan agregat kasar (%)

Ck = kandungan air dalam agregat halus (%)

Dk = kandungan air dalam agregat kasar (%)

26. Menghitung persentase serbuk besi dari berat agregat halus

2.6 Slump Test

Slump test beton adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar adukan beton yang akan di produksi. Untuk menentukan kualitas sebuah *mix design* beton, perlu dilakukan pengujian kadar kekentalan beton untuk mencapai kuat tekan beton rencana.

Pengambilan nilai *slump* dilakukan untuk setiap campuran baik pada beton standar maupun beton yang menggunakan zat adiktif dan bahan tambahan. Pengujian *slump* dilakukan pada beton segar yang dituangkan kedalam kerucut abrams. Pengisian dilakukan dalam tiga lapisan yaitu 1/3 dari tinggi kerucut abrams. Setiap lapisan harus dipadatkan dengan cara ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali menggunakan tongkat besi anti karat. Setelah penuh sampai permukaan atasnya

diratakan. Kemudian kerucut abrams diangkat secara vertikal dan slump dapat diukur dengan cara mengukur perbedaan tinggi antara kerucut dengan tinggi beton.

Pada pengujian nilai slump menggunakan kerucut abrams merupakan pengetesan tertua di Indonesia. Penggunaan cara ini didasarkan atas standar ASTM C-143. Terdapat beberapa alat yang dibutuhkan dalam proses pengujian diantaranya:

1. Penggunaan kerucut abrams dengan diameter sekitar 20 cm di bagian bawah. Diameter bagian atas berkisar 10 cm dan tingginya mencapai 30 cm. Kedua sisi pada kerucut tersebut saling berhadapan dan memiliki pegangan untuk mempermudah saat proses pengangkatan kerucut pada tes *slump*.
2. Penumbuk dengan diameter 16 mm dan panjangnya mencapai 60 cm terbuat dari bahan baja. Memiliki ujung yang tumpul dan berfungsi untuk memadatkan campuran beton yang telah diisikan ke dalam kerucut abrams.

Slump dibagi menjadi tiga macam tipe, yaitu :

1. *Slump* sebenarnya, terjadi apabila penurunannya seragam tanpa ada yang runtuh.
2. *Slump* geser, terjadi bila separuh puncaknya bergeser dan tergelincir ke bawah pada bidang miring.
3. *Slump* runtuh, terjadi bila kerucut runtuh semuanya.

2.7 Perawatan Beton (*Curing*)

Perawatan beton dilakukan saat beton sudah mulai mengeras bertujuan untuk menjaga agar beton tidak cepat kehilangan udara dan sebagai tindakan menjaga kelembaban atau suhu sehingga beton dapat mencapai mutu beton yang diinginkan. Proses perawatan ini meliputi pemeliharaan kelembaban dan kondisi suhu, baik dalam maupun di permukaan beton dalam periode waktu tertentu.

Perawatan beton sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton keras seperti keawetan, kekuatan, sifat rapat air, ketahanan abrasi, stabilitas volume dan ketahanan terhadap pembekuan. Tujuan perawatan beton :

1. Menjaga beton dari kehilangan air semen yang banyak pada saat-saat *setting time concret*.
2. Menjaga perbedaan suhu beton dengan lingkungan yang terlalu besar.
3. Stabilitas dari dimensi struktur.
4. Mendapatkan kekuatan beton yang tinggi.
5. Menjaga beton dari kehilangan air akibat penguapan pada hari pertama.
6. Menjaga supaya tidak terjadi keretakan pada beton

Menurut SNI 03-2847-2002 curing disyaratkan selama :

1. 7 hari untuk beton normal.
2. 3 hari untuk beton dengan kuat tekan awal tinggi.

Menurut ASTM C-150 waktu *curing* dibagi menjadi 4 berdasarkan tipe semen, yaitu:

1. Semen tipe I, waktu minimum *curing* 7 hari.
2. Semen tipe II, waktu minimum *curing* 10 hari.
3. Semen tipe III, waktu minimum *curing* 3 hari.
4. Semen tipe IV atau V minimum *curing* 14 hari.

Temperatur maksimum perawatan beton terletak diantara 40-100°C. Akan tetapi, temperatur optimum terletak diantara 65-80°C. Lebih tinggi temperatur maka semakin rendah batas kekuatan. Sedangkan jika temperaturnya lebih rendah maka membutuhkan perawatan yang lebih lama tetapi memberikan kekuatan batas yang lebih baik (Angjaya et al., 2013).