

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Umumnya beton tersusun dari tiga bahan penyusun utama yaitu semen, agregat dan air. Jika diperlukan, bahan tambah (*admixture*) dapat ditambahkan untuk mengubah sifat-sifat tertentu dari beton yang bersangkutan (Mulyono, 2005). Tetapi belakangan ini definisi dari beton sudah semakin luas, dimana beton adalah bahan yang terbuat dari berbagai macam tipe semen, agregat dan juga bahan pozzolan, abu terbang, terak dapur tinggi, sulfur, serat dan lain-lain (Neville dan Brooks, 1987).

Proses perencanaan beton sangat diperlukan karena pada saat perencanaan campuran beton dilakukan penentuan jumlah dari masing-masing bahan yang akan digunakan. Setelah proses perencanaan campuran beton selesai dalam proses pencetakan adukan harus diusahakan dalam kondisi yang homogen dengan tingkat *workability* tertentu untuk menghindari terjadinya *segregasi*. Kekuatan beton juga ditentukan oleh tingkat kepadatan dari beton tersebut. Apabila rongga yang dihasilkan dalam campuran beton semakin kecil, maka akan semakin tinggi kuat desak beton yang dihasilkan. Syarat yang terpenting dari pembuatan beton adalah sebagai berikut ini:

1. Beton segar harus mudah dalam pengerjaannya dan dapat dituang.
2. Beton yang dibuat diharapkan cukup kuat untuk menahan beban sesuai dengan beban yang telah direncanakan.
3. Pembuatan beton harus dilaksanakan secara ekonomis.

Pasta semen terbentuk dari campuran semen dan air. Pasta semen ini berfungsi sebagai pengisi pori-pori antara butiran agregat halus dan agregat kasar dan sebagai bahan pengikat dalam campuran beton. Pada beton terdapat ruang yang disebut kapiler. Kapiler adalah ruang yang tidak ditempati oleh butiran semen, merupakan rongga yang berisi udara dan air yang saling berhubungan yang. Kapiler

yang terbentuk ketika proses pembuatan beton akan tetap tinggal hingga beton mengeras, sehingga beton akan mempunyai sifat daya serap air yang lebih besar yang berakibat menurunnya kekuatan beton. Rongga ini dapat dikurangi dengan penambahan bahan tambah yang sesuai dengan proporsinya. Bahan tambah ini merupakan bahan khusus yang ditambah dalam campuran beton sebagai pengisi dan pada umumnya berupa bahan kimia organik dan bubuk mineral aktif.

Beton dapat mempunyai kuat desak yang sangat tinggi, tetapi memiliki kuat tarik yang lebih rendah yaitu sekitar 9-15% dari kuat desaknya. Beton tidak mampu menahan gaya tarik lebih dari nilai-nilai tertentu tanpa mengalami retak-retak. Beton mampu bekerja dengan optimal dalam suatu sistem struktur, namun diperlukan pemberian perkuatan penulangan yang terutama akan bertugas untuk menahan gaya tarik yang timbul dalam sistem struktur (Dipohusodo, 1999). Kondisi yang demikian yaitu rendahnya kuat tarik pada elemen struktur yang betonnya mengalami tegangan tarik diperkuat dengan batang baja tulangan sehingga terbentuk struktur komposit yang kemudian disebut sebagai beton bertulang. Khusus beton yang tidak bertulang disebut beton tanpa tulangan (*plain concrete*) (Moenir, 2012).

3.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton

Menurut Mc Cormac (2004), beton memiliki kelebihan sebagai struktur bangunan. Kelebihan yang dimiliki beton adalah sebagai berikut.

1. Memiliki kuat desak yang lebih tinggi dibandingkan dengan kebanyakan bahan struktur lainnya.
2. Beton bertulang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap air dan api, bahkan merupakan bahan struktur terbaik untuk bangunan yang banyak bersentuhan dengan air. Pada peristiwa kebakaran dengan intensitas rata-rata, batang-batang struktur dengan ketebalan penutup beton yang memadai sebagai tulangan hanya mengalami kerusakan pada permukaannya saja tanpa mengalami keruntuhan.
3. Beton bertulang memiliki biaya pemeliharaan yang tidak terlalu tinggi.

4. Beton merupakan bahan yang paling ekonomis dalam untuk struktur pondasi telapak, dinding *basement* dan tiang tumpuan jembatan.
5. Beton memiliki kemampuan untuk dicetak kedalam berbagai bentuk sesuai dengan kebutuhan. Dapat dibentuk menjadi pelat, balok, kolom dan lainnya.
6. Beton terbuat dari bahan yang mudah didapat dan murah harganya seperti pasir, kerikil dan air. Hanya semen dan tulangan baja saja yang mungkin agak sulit diperoleh, yang berkemungkinan harus didatangkan dari daerah lain.

Selain memiliki kelebihan, penggunaan beton sebagai bahan strukturjuga memiliki kekurangan. Kekurangan yang dimiliki beton adalah sebagai berikut.

2. Kuat tarik yang sangat rendah, sehingga diperlukan pemasangan tulangan baja agar beton dapat menahan kuat tarik.
3. Dalam pengerjaan beton bertulang diperlukan *bekisting*.
4. Berat mati beton yang besar dikarenakan untuk menahan beban yang besar beton memiliki dimensi yang akan semakin besar juga.
5. Sifat-sifat beton bervariasi karena adanya perbedaan proposi campuran dan proses pengadukannya. Di samping itu, proses pengerjaan beton seperti pada saat penuangan beton kedalam cetakan dan perawatan beton tidak dapat diteliti sedemikian rupa seperti pada proses produksi material lain seperti proses produksi baja dan kayu.

3.3 Material Penyusun Beton

Material penyusun beton dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu bahan aktif dan bahan pasif. Kelompok aktif adalah semen dan air, sedangkan kelompok pasif adalah pasir dan kerikil. Kelompok aktif berfungsi sebagai perekat/pengikat sedangkan kelompok pasif disebut sebagai bahan pengisi (Tjokrodinuljo, 1996).

3.3.1 Semen *Portland*

Salah satu bahan konstruksi yang sering digunakan dalam pekerjaan beton adalah semen *portland*. Salah satu definisi semen *portland* menurut ASTM C219-03 (2005) adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih

bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya. Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan kegunaanya dan harus sesuai dengan spesifikasi teknik yang beriklan.

Semen berfungsi untuk :

1. Mengikat pasir dan kerikil jika bercampur dengan air agar terbentuk beton.
2. Mengisi rongga-ronga diantara butir-butir agregat.

Menurut Antono (1996), semen *portland* memiliki susunan oksida yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Susunan Oksida dari Semen *Portland*

Jenis Oksida	% Kandungan
Sulfur (SO ₃)	2
Magnesia (MgO)	2
Besi (Fe ₂ O ₃)	3
Alumunia (Al ₂ O ₃)	7
Silika (SiO ₂)	22
Kapur (CaO)	63

(Sumber : Antono, Teknik Beton)

Kandungan senyawa yang terdapat dalam semen akan membentuk karakter dan jenis semen. Menurut L.J Murdock (1986) semen terbentuk dari beberapa senyawa pokok yaitu:

1. Tricalcium Silikat (C3S) = 3CaO.SiO₂
2. Dicalcium Silikat (C2S) = 2CaO.SiO₂
3. Tricalcium Alumina (C3A) = 3CaO.Al₂O₃
4. Tetraclcium Aluminoforit (C4Af) = 4CaO.Al₂O₃ FeO₃

Jenis semen yang ada dipasaran meliputi semen *portland* putih, semen *portland* mengacu pada SNI 15-2049-2004, semen *portland* komposit mengacu pada SNI 15-7064-2004 dan semen *portland* pozolan mengacu pada SNI 15-0302-2004 (Mulyono, 2004). Didalam SNI 15-2049-2004 yang juga sesuai dengan standar ASTM C 150-95a, semen *portland* dibagi menjadi 5 kategori berdasarkan

jenis dan penggunaannya yaitu.

1. Semen *Portland* jenis I untuk penggunaan umum yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya.
2. Semen *Portland* jenis II yang pada penggunaannya diperlukan untuk ketahanan terhadap sulfat dan kalor hidrasi sedang.
3. Semen *Portland* jenis III yang dalam penggunaannya diperlukan untuk menghasilkan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.
4. Semen *Portland* jenis IV yang dalam penggunaannya diperlukan kalor hidrasi yang rendah.
5. Semen *Portland* jenis V yang dalam penggunaannya diperlukan untuk ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

Berdasarkan persentase kandungan penyusunnya, semen *portland* terdiri dari 5 tipe sebagai berikut.

1. Semen *portland* tipe I adalah perekat hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling klinker yang kandungan utamanya kalsium silikat. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 55% (C3S); 19% (C2S); 10% (C3A); 7% (C4AF); 2,8% MgO; 2,9% (SO3); 1,0% hilang dalam pembakaran, dan 1,0% bebas CaO.
2. Semen *portland* tipe II dipakai untuk keperluan konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus terhadap panas hidrasi dan kekuatan tekan awal, contohnya bangunan untuk rumah tinggal ataupun gedung-gedung bertingkat. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 51% (C3S); 24% (C2S); 6% (C3A); 11% (C4AF); 2,9% MgO; 2,5% (SO3); 0,8% hilang dalam pembakaran, dan 1,0% bebas CaO.
3. Semen *portland* tipe III dipakai untuk konstruksi bangunan dari beton massa (tebal) yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang, contohnya dari bangunan yang memerlukan semen tipe III adalah saluran irigasi, dam, bangunan pinggir laut dan bangunan bekas rawa. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 57% (C3S); 19% (C2S); 10% (C3A); 7% (C4AF); 3,0% MgO; 3,1% (SO3); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 1,3% bebas CaO.

4. Semen *portland* tipe IV dipakai untuk konstruksi bangunan yang memerlukan kekuatan tekan tinggi pada fase permulaan setelah pengikatan terjadi, contohnya adalah pembuatan bangunan-bangunan bertingkat banyak, bangunan yang berada didalam air serta pembuatan jalan dari beton. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 28% (C3S); 49% (C2S); 4% (C3A); 12% (C4AF); 1,8% MgO; 1,9% (SO3); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 0,8% bebas CaO.
5. Semen *portland* tipe V dipakai untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan dan pembangkit tenaga nuklir. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 38% (C3S); 43% (C2S); 4% (C3A); 9% (C4AF); 1,9% MgO; 1,8% (SO3); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 0,8% bebas CaO.

3.3.2 Air

Pada campuran beton air memiliki fungsi untuk membantu reaksi kimia yang dalam proses pengikatan serta sebagai pelicin antara campuran agregat dan semen agar mudah dikerjakan dengan tetap menjaga tingkat *workability* campuran beton tersebut

Sifat kemudahan pengerjaan adukan beton (*workability*), kekuatan, susut dan keawetan beton sangat dipengaruhi oleh air dalam proses pembentukan semen. Air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen hanya sekitar 25 % dari berat semen saja, namun akan sulit sekali pengerjaan beton apabila nilai faktor air semen lebih rendah dari 35%. Selain itu, penggunaan air tidak boleh terlalu banyak karena dapat menurunkan kekuatan beton menjadi rendah dan beton menjadi keropos. Kelebihan air pada campuran beton dapat menyebabkan *bleeding*. *Bleeding* adalah air yang naik ke permukaan beton setelah beton selesai dibuat dan menurunnya partikel agregat kebawah, yang kemudian menjadi buih dan terbentuk suatu selaput tipis (*laitance*). Selaput tipis ini akan mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah (Tjokrodimuljo,1996).

Di dalam SNI 2847-2013 air yang digunakan harus memenuhi ASTM C1602M atau SNI 03-7974 2013 (Spesifikasi air pencampur yang digunakan dalam

produksi beton semen hidraulis). Selain itu menurut Tjokrodimuljo (1996) dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut.

1. Memiliki kandungan lumpur maksimum 2 gram/liter.
2. Memiliki kandungan garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dll) maksimum 15 gram/liter.
3. Memiliki kandungan klorida (Cl) maksimum 0,5 gram/liter.
4. Memiliki kandungan senyawa sulfat maksimum 1 gram/liter.

3.3.3 Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang merupakan hasil disintegrasi alami batubatuan atau juga hasil mesin pemecah batu dengan memecah batu alami. Agregat berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Kandungan agregat dalam beton kira-kira mencapai 70% dari volume beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton (Tjokrodimuljo, 1996). Agregat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu agregat halus dan agregat kasar yang didapat secara alami atau buatan. Terdapat perbedaan ukuran agregat maksimum antara disiplin ilmu yang satu dengan yang lainnya. Menurut ASTM batasan antara agregat halus dan agregat kasar adalah 4,75 mm dan menurut *British Standard* adalah 4,80 mm

Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat yang berukuran besar.

1. Agregat Kasar

Agregat kasar secara umum adalah kerikil hasil disintegrasi batuan atau disebut batu pecah yang ukuran butirannya lebih dari 5 mm (PBI, 1971). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya. Disebut agregat kasar jika sudah melebihi $\frac{1}{4}$ in. (6 mm). (PBI, 1971). Menurut PBI (1971), Pasal 3.4 syarat-syarat agregat kasar (kerikil) adalah sebagai berikut.

- a. Tidak memiliki pori-pori yang lebih dari 20% dari berat agregat seluruhnya. Agregat kasar harus memiliki ketahanan yang baik dalam keadaan cuaca panas ataupun dingin.
- b. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% yang ditentukan terhadap berat kering. Jika melebihi 1% maka agregat kasar tersebut harus dicuci terlebih dahulu.
- c. Tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.
- d. Menurut SNI 2847-2013 (Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung) ukuran maksimum agregat kasar harus tidak melebihi:
 - 1) $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara sisi cetakan, ataupun
 - 2) $\frac{1}{3}$ ketebalan slab, ataupun
 - 3) $\frac{3}{4}$ jarak bersih minimum antara tulangan atau kawat, bundel tulangan, atau tendon prategang, atau selongsong.

Batasan ini tidak berlaku bila dalam pertimbangan insinyur profesional bersertifikat, kelecakan (*workability*) dan metode pemadatan adalah agar beton dapat dicor tanpa keropos atau rongga udara.

2. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,76 mm berasal dari alam atau hasil olahan yang digunakan sebagai bahan pengisi, penahan penyusutan, dan penambah kekuatan (SNI 03-6820-2002). Agregat halus yang digunakan harus memenuhi persyaratan karena sangat berpengaruh pada kualitas beton yang dihasilkan. Menurut PBI 1971, syarat-syarat agregat halus (pasir) adalah sebagai berikut.

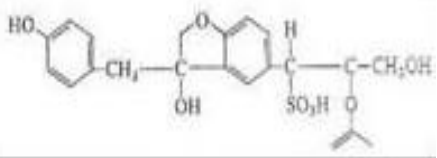
- a. Agregat halus berbentuk butiran-butiran yang kuat serta tajam, bersifat tidak mudah hancur karena cuaca panas ataupun hujan.
- b. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% terhadap berat agregat kering. Apabila mengandung lumpur lebih dari 5%, agregat halus harus dicuci terlebih dahulu
- c. Tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak

- d. Agregat halus terdiri dari butiran-butiran yang beranekaragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan dalam Pasal 3.5 ayat 1 (PBI 1971), harus memenuhi syarat sebagai berikut.
- 1) Sisa diatas ayakan 4 mm, harus minimum 2% berat.
 - 2) Sisa diatas ayakan 1 mm, harus minimum 10% berat.
 - 3) Sisa diatas ayakan 0,25 mm, harus berkisar antara 80% - 90% berat.

3.3.4 Bahan Tambah

Bahan tambah (*admixture*) adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan, yang ditambahkan ke dalam campuran adukan beton selama pengadukan, dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonnya. (SK SNI S-18-1990-03). Sedangkan menurut ACI (American Concrete Institute), bahan tambah adalah material selain air, agregat dan semen hidrolis yang dicampurkan dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung. Bahan tambah dibagi menjadi dua yaitu *chemical admixture* (bahan-bahan *admixture* yang dapat larut dalam air) dan *mineral admixture* (bahan-bahan yang tidak dapat larut dalam air). Ada beberapa jenis bahan admixture sesuai dengan ASTM C 494-81, diantaranya adalah *superplasticizer*. Kegunaan *superplasticizer* (*High Range Water Reducer*) pada beton dapat mengurangi penggunaan air, tanpa harus kehilangan kelecakannya. Jenis-jenis *superplasticizer* berdasarkan bahan yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Jenis *Superplasticizer*

Jenis	Asal	Struktur Kimia
<i>Lignosulfonates</i>	Berasal dari proses netralisasi, pengendapan, dan fermentasi dari limbah cair yang diperoleh selama pembuatan bubuk kertas dari kayu	

Lanjutan Tabel 3.2 Jenis *Superplasticizer*

Jenis	Asal	Struktur Kimia
<i>Sulfonated Melamine Formaldehyde Condensates (MSF)</i>	Berasal dari resinifikasi normal melamin – formaldehida	<p>M=Na</p>
<i>Sulfonated Naphthalene Formaldehyde Condensates (SNF)</i>	Dihasilkan dari naftalena dengan oleum ataupun sulfonasi SO ₃ , reaksi selanjutnya dengan formaldehid mengarah ke polimerisasi dan asam sulfonat dinetralkan dengan natrium hidroksida atau kapur	<p>R=H, CH₃, C₂H₅ M=Na SNF</p>
<i>Polycarboxylate Ethers</i>	Mekanisme radikal bebas menggunakan inisiator peroksida digunakan untuk proses polimerisasi dalam sistem ini	<p>EO: Ethylene oxide</p>

(Sumber : Mailvaganam dan Rixom, *Chemical Admixture for Concrete* 2003)

Dalam penelitian ini akan digunakan bahan tambah berupa *chemical admixture* tipe F yaitu *polycarboxylate (Sika Viscocrete 1003)* dan *naphthalene (Sikament NN)*.

1. *Sika Viscocrete 1003*

Sika Viscocrete 1003 merupakan bahan tambah kimia (*chemical admixture*), yaitu merupakan bahan tambah berupa cairan yang ditambahkan pada campuran beton dalam jumlah tertentu untuk mengubah beberapa sifat beton. Bahan tambah *Sika Viscocrete 1003* termasuk Tipe F “*Water Reducing, High Range Admixtures*”

yaitu bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu hingga pengurangan air mencapai 30%. Jenis bahan tambah ini adalah berupa *superplasticizer*, dosis yang disarankan adalah 0,2% - 0,6% dari berat semen untuk beton plastis dan 0,6% - 2,0% untuk beton *Self Compacting Concrete (SCC)*. Dosis yang berlebihan akan menyebabkan menurunnya kuat desak beton. *Sika Viscocrete – 1003* adalah generasi ketiga *superplasticizer*. Hal ini terutama dikembangkan untuk produksi tinggi aliran beton. Khususnya cocok untuk beton *mixes* dengan transportasi waktu lama dan panjang untuk dilaksanakan. Kelebihan penggunaan *Sika Viscocrete 1003* adalah sebagai berikut.

- a. Pengurangan air dalam jumlah besar.
- b. Bagus dalam kemampuan aliran.
- c. Optimal dalam penyatuan/koheesi campuran.
- d. Kuat dalam sifat memadat dengan sendirinya.

Data teknis *Sika Viscocrete 1003* dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Data Teknis *Sika Viscocrete 1003*

<i>Chemical Base</i>	Larutan cair hasil modifikasi polycarboxylate copolymers
Dosis	0,2% - 2,0% dari berat semen
Berat Jenis	1,065 kg/l
Umur	12 bulan
Penyimpanan	Ditempat yang teduh dan kering
Kemasan	200 kg

(Sumber : PT. Sika Indonesia)

2. *Sikament NN*

Sikament-NN merupakan zat aditif yang sangat efektif untuk memproduksi beton encer dengan cairan *superplasticizer* yang berfungsi ganda sebagai pengurangan kadar air, untuk membantu menghasilkan kekuatan awal dan kekuatan akhir tinggi. Bebas dari klorin (sesuai dengan A.S.T.M C 494 -92 Type F). Kelebihan penggunaan *Sikament NN* adalah sebagai berikut.

- a. Sebagai *Superplasticizer*
 - 1) Keleccakan (*workability*) meningkat tajam.
 - 2) Memudahkan pengecoran untuk struktur ramping dengan penulangan yang rapat.
 - 3) Mengurangi jumlah getaran yang dibutuhkan.
 - 4) Waktu pengerasan normal tanpa perlambatan (*retardation*).
 - 5) Mengurangi resiko pemisahan (*segregation*) secara signifikan.
- b. Sebagai Bahan pengurang Air
 - 1) Pengurangan air hingga 25% akan memberikan peningkatan 40% kuat desak dalam 28 hari.
 - 2) Berkekuatan tinggi setelah 12 jam.

Data Teknis *Sikament NN* dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Data Teknis *Sikament NN*

<i>Chemical Base</i>	<i>Napthalene Formaldehyde Sulfonated</i>
Dosis	0,3% - 2,3% dari berat semen
Berat Jenis	$\pm 1,2$ kg/l
Umur	12 bulan
Penyimpanan	Ditempat yang teduh dan kering
Kemasan	240 kg drum

(Sumber : PT. Sika Indonesia)

Bahan tambah yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Gambar 3.1 berikut ini.



a. *Sika Viscocrete 1003*



b. *Sikament NN*

Gambar 3.1 Bahan Tambah yang Digunakan

(Sumber : PT. Sika Indonesia)

3.3.5 Reaksi Penambahan *Superplasticizer*

Penambahan *Superplasticizer* dalam dosis tertentu dapat mendispersi semen menjadi lebih merata, sehingga akan menghasilkan reaksi hidrasi yang lebih sempurna. Reaksi ini akan membuat gel menjadi lebih kompak dan padat sehingga daya ikat campuran menjadi lebih kuat dan diharapkan dapat meningkatkan kekuatan beton yang dihasilkan.

1. Reaksi Kimia Penambahan *Superplasticizer* berbasis *Polycarboxylate* terhadap semen

Menurut penelitian Shanshan, H dkk. (2010) penambahan zat *superplasticizer* berbasis *polycarboxylate* kedalam campuran beton menyebabkan terjadinya dispersi semen. Pada penambahan *superplasticizer* dispersi partikel semen terjadi karena rintangan sterik. Rintangan sterik bergantung pada panjang rantai utama, panjang dan jumlah rantai samping. *Superplasticizer* dengan fitur struktur seperti rantai utama pendek, kepadatan muatan tinggi, dan kepadatan rantai sisi yang rendah dapat menyebabkan lebih banyak adsorpsi pada permukaan partikel semen. Fluiditas dari pasta semen bergantung tidak hanya pada adsorpsi *superplasticizer*, tetapi juga pada struktur molekul *superplasticizer*. Rantai utama yang panjang, dan rantai samping yang jarang dalam *superplasticizer* menunjukkan efek retardasi terkuat pada hidrasi semen.

2. Reaksi Kimia Penambahan *Superplasticizer* berbasis *Napthalene* terhadap semen

Menurut penelitian Heikal, M dkk (2005) penambahan zat *naphthalene* kedalam campuran beton menyebabkan terjadinya dispersi semen. Dispersi partikel semen disebabkan sebagai hasil negatif muatan kiri pada partikel semen teradsorpsi campuran, yang akan mengusir partikel semen lainnya. Ini Fenomena ini disebut tolakan elektrostatis. Tolakan elektrostatis terjadi dikarenakan rantai polimer utama *sulfonated* SO_3 menyerap ke permukaan partikel semen yang menyebabkan partikel semen menjadi bermuatan negatif. Akibat dari tolakan elektrostatis terjadi antara partikel semen, susunan partikel semen dalam pasta semen mengimbangi gaya tarik antar partikel tersebut.

3.4 Karakteristik Kekuatan Beton

Wang dan Salmon (1990), menjelaskan bahwa beton memiliki berbagai macam karakteristik sebagai berikut.

1. Mempunyai tegangan hancur tekan yang tinggi serta tegangan hancur tarik yang rendah.
2. Beton tidak dapat dipergunakan pada elemen konstruksi yang memikul momen lengkung atau tarikan.
3. Beton sangat lemah dalam menerima gaya tarik, sehingga akan terjadi retak yang semakin lama akan makin besar.
4. Proses kimia pengikatan semen dengan air menghasilkan panas dan dikenal dengan proses hidrasi.
5. Air berfungsi juga sebagai pelumas untuk mengurangi gesekan antar butiran sehingga beton dapat dipadatkan dengan mudah.
6. Kelebihan air dari jumlah yang dibutuhkan akan menyebabkan butiran semen berjarak semakin jauh sehingga kekuatan beton akan berkurang.
7. Dengan perkiraan komposisi (mix desain) dibuat rekayasa untuk memeriksa dan mengetahui perbandingan campuran agar dihasilkan kekuatan beton yang tinggi.
8. Selama proses pengerasan campuran beton, kelembaban beton harus dipertahankan untuk mendapatkan hasil yang direncanakan.
9. Setelah 28 hari, beton akan mencapai kekuatan penuh dan elemen konstruksi akan mampu memikul beban luar yang bekerja padanya.
10. Untuk menjaga keretakan yang lebih lanjut pada suatu penampang balok, maka dipasang tulangan baja pada daerah yang tertarik.
11. Pada beton bertulang memanfaatkan sifat beton yang kuat dalam menerima gaya tekan serta tulangan baja yang kuat menerima gaya tarik.
12. Dari segi biaya, beton menawarkan kemampuan tinggi dan harga yang relative rendah.
13. Beton hampir tidak memerlukan perawatan dan masa konstruksinya mencapai 50 tahun serta elemen konstruksinya yang mempunyai kekakuan tinggi serta aman terhadap bahaya kebakaran.

14. Salah satu kekurangan yang besar adalah berat sendiri konstruksi.
15. Kelemahan lainnya adalah perubahan volume sebagai fungsi waktu berupa susut dan rangkai.

3.5 Perencanaan Campuran Beton

Penelitian ini menggunakan metode perencanaan campuran adukan beton sesuai dengan standar SNI-03-2834-2002. Salah satu tujuan penelitian memakai perencanaan campuran beton dengan standar SNI-03-2834-2002 adalah untuk menghasilkan beton yang mudah dikerjakan dan sesuai dengan standar pengerjaan yang ada di Indonesia. Adapun tata cara urutan perencanaan campuran adukan beton menurut SNI-03-2834-2002 adalah sebagai berikut.

1. Menentukan nilai deviasi standar (S_d) yang ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya. Makin baik mutu pelaksanaan makin kecil nilai deviasi standarnya. Jika jumlah data hasil uji kurang dari 30 buah maka dilakukan koreksi terhadap nilai deviasi standar dengan suatu faktor pengali (Tabel 3.5) dan bila jumlah data hasil uji kurang dari 15, maka nilai tambah (M) diambil tidak kurang dari 12 MPa. Kemudian nilai deviasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut

Tabel 3.5 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
< 15	-
15	1,16
20	1,08
25	1,03
≥ 30	1,00

(Sumber : SNI-03-2834-2002)

Tabel 3.6 Nilai Deviasi Standar Untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	Sd (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat Baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa Kendali	8,4

(Sumber : SNI-03-2834-2002)

2. Nilai tambah (M) untuk kuat desak rencana dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.1 berikut.

$$M = 1,64 \times Sd \quad (3.1)$$

dengan:

M = Nilai tambah (Mpa)

Sd = Deviasi standar rencana (Mpa)

3. Menentukan kuat desak rata-rata yang direncanakan (f'_{cr}) dengan menggunakan Persamaan 3.2 berikut. Kuat desak beton yang disyaratkan ditetapkan sesuai dengan persyaratan perencanaan strukturnya dan kondisi setempat. Kuat desak beton yang disyaratkan adalah kuat desak beton dengan kemungkinan lebih rendah dari nilai itu sebesar 5% saja.

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (3.2)$$

dengan:

f'_{cr} = Kuat desak rata-rata yang direncanakan (Mpa)

f'_c = Kuat desak yang disyaratkan (Mpa)

M = Nilai tambah (Mpa)

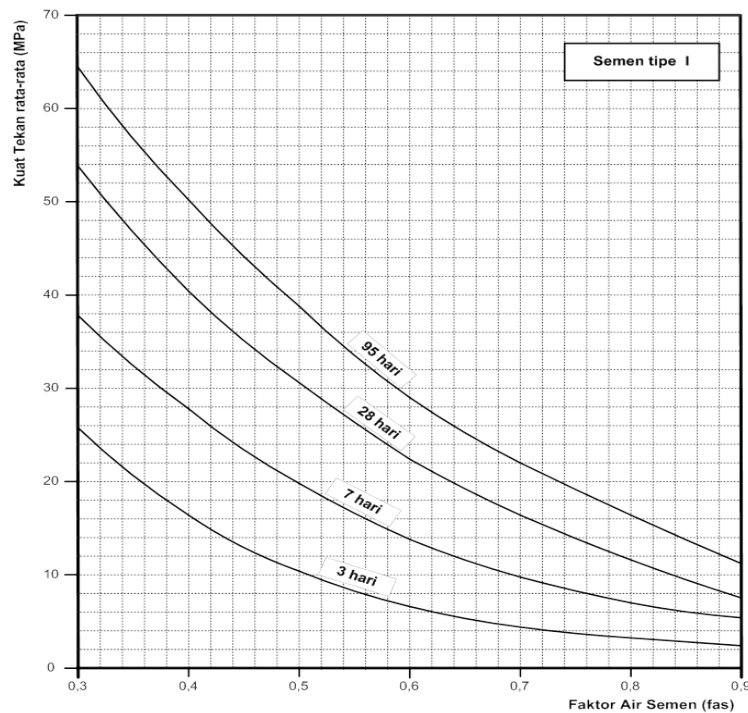
4. Menentukan jenis semen yang digunakan
5. Menentukan jenis agregat yang digunakan

6. Menentukan nilai faktor air semen (FAS) minimum dengan menggunakan Tabel 3.7 maupun dengan menggunakan grafik (Gambar 3.2).

Tabel 3.7 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan FAS = 0,5

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (Mpa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Portland Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	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-03-2834-2002)



Gambar 3.2 Grafik Hubungan Antara Kuat Desak dan Faktor Air Semen Untuk Benda Uji Silinder

(Sumber: SNI-03-2834-2002)

- Menentukan nilai faktor air semen maksimum dengan menggunakan Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.8 Peryaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus

Lokasi	Jumlah Semen Minimum per m ³ beton (kg)	Nilai Fas Maksimum
Beton Dalam Ruang Bangunan :		
Keadaan Keliling Non-Korosif	275	0,6
Keadaan Keliling Korosif	325	0,52
Beton Diluar Ruangan Bangunan :		
Tidak Terlindung Dari Hujan dan Terik Matahari Langsung	325	0,6
Terlindung Dari Hujan dan Terik Matahari Langsung	275	0,6
Beton Masuk Kedalam Tanah :		
Mengalami Keadaan Basah dan Kering Berganti-ganti	325	0,55
Mendapat Pengaruh Sulfat dan Alkali dari Tanah		Tabel 5 SNI 03-2834-2002

(Sumber: SNI-03-2834-2002)

- Menentukan nilai *slump* yang merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adukan beton. Tingkat kelecakan berkaitan erat dengan tingkat kemudahan pekerjaan (*workability*). Penetapan nilai *slump* dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan maupun jenis strukturnya. *Slump* ditetapkan sesuai dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan agar diperoleh beton yang mudah dituangkan, dipadatkan dan di ratakan.
- Menghitung besar butir agregat maksimum berdasarkan ketentuan yaitu tidak boleh melebihi seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan,

sepertiga dari tebal pelat dan tiga perempat dari jarak bersih minimum diantara batang-batang atau berkar-berkas tulangan.

10. Menghitung kadar air bebas agregat campuran (agregat tak dipecahkan dan agregat dipecahkan) dengan Persamaan 3.3 berikut.

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3}Wh + \frac{1}{3}Wk \quad (3.3)$$

dengan:

Wh = Perkiraan Jumlah air untuk agregat halus

Wk = Perkiraan Jumlah air untuk agregat kasar

Nilai Wh dan Wk diperoleh dari Tabel 3.9 berikut.

Tabel 3.9 Perkiraan Kadar Air Bebas Tiap Meter Kubik Beton

Ukuran Maksimum Agregat (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
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(Sumber: SNI-03-2834-2002)

- a. Jumlah kadar air yang dipakai per meter kubik beton

- 1) Dengan menggunakan tabel

Tabel yang digunakan adalah Tabel 3.8 yang telah tertera dalam perhitungan nilai FAS dan kondisi lingkungan beton.

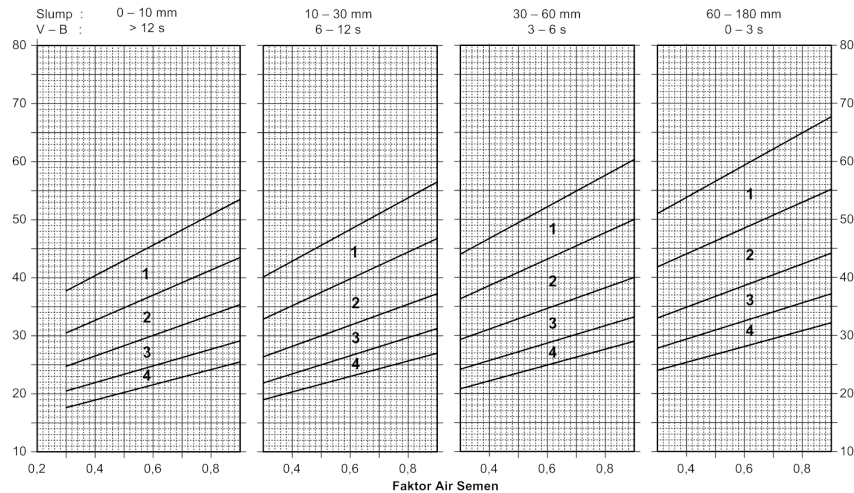
- 2) Dengan menggunakan rumus

Jumlah kadar air yang dipakai per m^3 beton dapat dihitung dengan Persamaan 3.4 berikut.

$$\text{Jumlah semen minimum per } m^3 \text{ beton} = \frac{\text{Kadar air bebas}}{FAS} \quad (3.4)$$

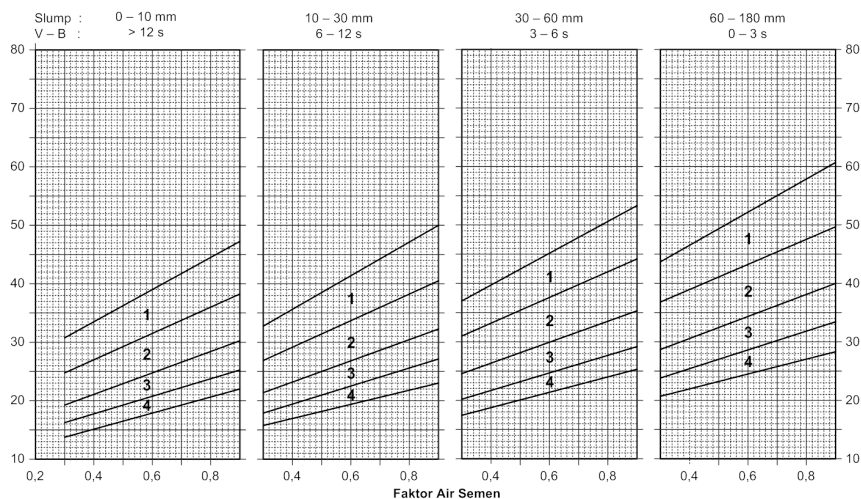
Dari kedua cara tersebut dipakai jumlah semen minimum per m³ beton.

- b. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan grafik pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.3 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Maksimum 20 mm

(Sumber: SNI-03-2834-2002)



Gambar 3.4 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Maksimum 40 mm

(Sumber: SNI-03-2834-2002)

Adapun untuk menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan grafik tersebut adalah sebagai berikut.

- 1) Pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 diatas, tentukan grafik yang akan dipakai berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump yang direncanakan.
- 2) Tarik garis vertikal ke atas sampai ke kurva yang paling atas diantara 2 kurva yang menunjukkan daerah gradasi pasir.
- 3) Kemudian, tarik garis horizontal ke kanan, baik kurva batas atas maupun kurva batas bawah yang berada di daerah gradasi dan catat nilainya.
- 4) Ambil rata-rata dari kedua nilai tersebut.

Untuk nilai persentase agregat kasar dihitung dengan Persamaan 3.5

$$\text{Nilai persentase agregat kasar} = 100\% - \text{Persentase agregat halus} \quad (3.5)$$

11. Menghitung berat jenis relatif agregat yang diambil berdasarkan data hasil pengujian laboratorium. Berat jenis agregat gabungan dihitung berdasarkan persamaan 3.6 berikut.

$$BJ_{AG} = (\%AH \times BJ_{AH}) + (\%AK \times BJ_{AK}) \quad (3.6)$$

dengan:

BJ_{AG} = Berat jenis agregat gabungan

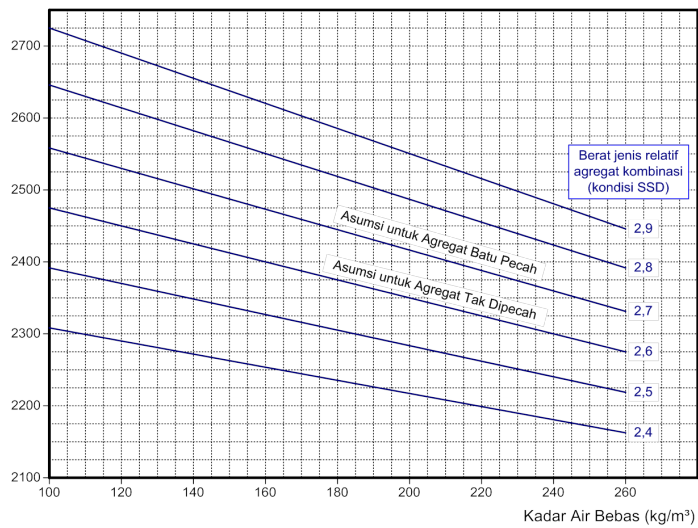
BJ_{AH} = Berat jenis agregat halus

BJ_{AK} = Berat jenis agregat kasar

$\%AH$ = Persentase agregat halus

$\%AK$ = Persentase agregat kasar

12. Mencari nilai berat isi beton dengan menggunakan grafik pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber : SNI-03-2834-2002)

Adapun langkah-langkah untuk mencari nilai berat isi beton dengan menggunakan grafik tersebut adalah sebagai berikut.

- b. Pada Gambar 3.5 diatas, tarik garis sesuai dengan nilai berat jenis agregat gabungan sejajar dengan garis linier yang telah ada pada grafik,
 - c. Tarik garis vertikal ke atas sampai memotong garis yang telah dibuat tadi sesuai dengan nilai kadar air bebas kemudian tarik garis horizontal ke kiri pada perpotongan kedua garis diatas dan catat nilainya.
13. Menghitung kadar agregat gabungan dengan menggunakan Persamaan 3.7.

$$\text{Kadar agregat gabungan} = \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \quad (3.7)$$

14. Menghitung kadar agregat halus dengan menggunakan Persamaan 3.8.

$$\text{Kadar agregat halus} = \frac{\% \text{ agregat halus}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \quad (3.8)$$

15. Menghitung kadar agregat kasar dengan menggunakan Persamaan 3.9.

$$\text{Kadar agregat kasar} = \frac{\% \text{ agregat kasar}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \quad (3.9)$$

16. Menghitung kadar agregat kasar, kadar agregat halus dan air sesuai dengan persamaan berikut.

$$\text{Air} = B - (C_k - C_a) \times C/100 - (D_k - D_a) \times D/100 \quad (3.10)$$

$$\text{Agregat Halus} = C - (C_k - C_a) \times C/100 \quad (3.11)$$

$$\text{Agregat Kasar} = D - (D_k - D_a) \times D/100 \quad (3.12)$$

dengan :

B = Jumlah air (kg/m^3)

C = Jumlah agregat halus (kg/m^3)

D = Jumlah agregat kasar (kg/m^3)

C_a = Apsorpsi air pada agregat halus (%)

C_k = Kandungan air dalam agregat halus (%)

D_a = Apsorpsi air pada agregat kasar (%)

D_k = Kandungan air dalam agregat kasar (%)

17. Menghitung proporsi campuran (agregat dalam kondisi SSD) dan kemudian didapatkan susunan campuran proporsi teoretis untuk setiap 1 m^3 beton.
18. Menghitung berat masing-masing bahan setiap variasi campuran.

3.6 Kuat Desak Beton

Sifat yang paling penting dari beton adalah kuat desak beton. Kuat desak beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya apabila kuat desak beton tinggi, sifat-sifat lainnya juga baik (Tjokrodimulyo, 1996). Kuat desak beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu. Nilai kuat desak beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu dengan benda uji berupa silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Selanjutnya

benda uji ditekan dengan mesin tekan sampai pecah. Beban tekan maksimum pada saat benda uji pecah dibagi luas penampang benda uji merupakan nilai kuat desak beton yang dinyatakan dalam MPa atau kg/cm^2 . Tata cara pengujian yang umum dipakai adalah standar *ASTM C 39* atau menurut yang disyaratkan PBI 1989. Cara yang digunakan untuk menentukan nilai kuat desak beton adalah sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.13)$$

dengan :

$f'c$ = kuat desak beton

P = beban maksimum

A = luas penampang benda uji

3.7 Umur Beton

Kuat desak beton akan bertambah tinggi dengan bertambahnya umur. Yang dimaksud umur di sini adalah dihitung sejak beton dicetak. Laju kenaikan kuat desak beton mula-mula cepat, lama-lama laju kenaikan itu akan semakin lambat dan laju kenaikan itu akan menjadi relatif sangat kecil setelah berumur 28 hari. Sebagai standar kuat desak beton (jika tidak disebutkan umur secara khusus) adalah kuat desak beton pada umur 28 hari (Tjokrodinuljo, 1996).

Laju kenaikan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jenis semen *portland*, suhu keliling beton, faktor air-semen dan faktor lain yang sama dengan faktor-faktor yang mempengaruhi kuat desak beton. Hubungan antara umur dan kuat desak beton dapat dilihat pada Tabel 3.10 berikut.

Tabel 3.10 Hubungan Antara Umur dan Kuat desak Beton

Umur Benda Uji	Angka Konversi
3 hari	0,40
7 hari	0,65
14 hari	0,88
<u>21 hari</u>	<u>0,95</u>
28 hari	1,00

(Sumber : PBI-1971)

3.8 Daya Serap Air Beton

Pengujian penyerapan air dilakukan untuk mengetahui daya serap air pada benda uji beton dalam setiap variasi. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metode SNI 03-6444-2000. Daya serap air beton tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Daya Serap Air} = \frac{Wb - Wk}{Wk} \times 100\% \quad (3.14)$$

dengan :

Wb = Berat Beton SSD

Wk = Berat Beton Kering Oven

3.9 Rencana Anggaran Biaya Beton

Penyusunan rencana anggaran biaya dilakukan setelah proses pengujian selesai dilaksanakan. Rencana anggaran biaya adalah banyaknya biaya yang dibutuhkan baik upah maupun bahan dalam sebuah proyek konstruksi. Rencana anggaran biaya dapat dihitung dengan mengetahui volume pekerjaan, kebutuhan bahan dan alat serta harga satuan bahan yang digunakan. Rencana anggaran biaya pada penelitian ini dihitung berdasarkan produksi 1 m³ beton. Rencana anggaran biaya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Total Harga} = \text{Harga Satuan Bahan} \times \text{Kebutuhan Bahan (Kg)} \quad (3.15)$$