

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tinjauan Umum

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau bahan tambah yang membentuk massa padat (SK SNI T-15-1991-03, 1993). Perancangan komposisi bahan pembentuk beton merupakan penentu kualitas beton, yang berarti pula kualitas sistem struktur total. Bukan hanya bahan harus baik, melainkan keseragaman harus dipertahankan pada keseluruhan produk beton.

Karakteristik beton yang baik disimpulkan sebagai berikut :

1. Kepadatan.

Ruang yang ada pada beton sedapat mungkin terisi oleh agregat dan pasta semen.

2. Kekuatan.

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

3. Faktor air semen.

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

Untuk mencapai kondisi yang dituliskan di atas, harus ada kontrol kualitas yang baik atas faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton. Parameter-parameter yang paling penting (Edward G. Nawi, 1990) adalah berikut ini.

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

Penyelidikan mengenai persyaratan ini membuktikan bahwa hampir semua kontrol menyangkut hal-hal sebelum pengecoran beton segar. Karena kontrol ini menyangkut penentuan komposisi dan kemudahan mekanis atau kemudahan pengangkutan dan pengecoran, maka perlu dipelajari kriteria-kriteria yang berdasarkan teori penentuan komposisi untuk setiap pencampuran.

3.2 Material Penyusun Beton

Beton merupakan bahan elemen struktur yang memiliki suatu karakteristik yang spesifiknya terdiri dari beberapa bahan penyusun sebagai berikut:

3.2.1 Semen Portland

Semen Portland merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambah (PUBI – 1982) yang berupa bubuk halus dengan kandungan kapur, silika, dan alumina. Unsur-unsur pokok yang terdapat dalam semen portland dapat dilihat dalam tabel 3.1. Oksida-oksida

tersebut berinteraksi satu sama lain untuk membentuk serangkaian produk yang lebih kompleks selama proses peleburan.

Tabel 3.1. Susunan unsur dalam semen (Neville, 1975)

| 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 |

Tetapi pada dasarnya terdapat 4 unsur yang paling penting seperti yang terdapat dalam tabel 3.2.

Tabel 3.2. Komposisi utama semen portland (Neville, 1975)

| Nama Unsur | Komposisi Kimia | Simbol |
|--|--|-------------------|
| Trikalsium Silikat | 3CaO . SiO ₂ | C ₃ S |
| Dikalsium Silikat | 2CaO . SiO ₂ | C ₂ S |
| Trikalsium Aluminat | 3CaO . Al ₂ O ₃ | C ₃ A |
| Tetrakalsium Aluminoforit ⁺ | 3CaO . Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃ | C ₄ AF |

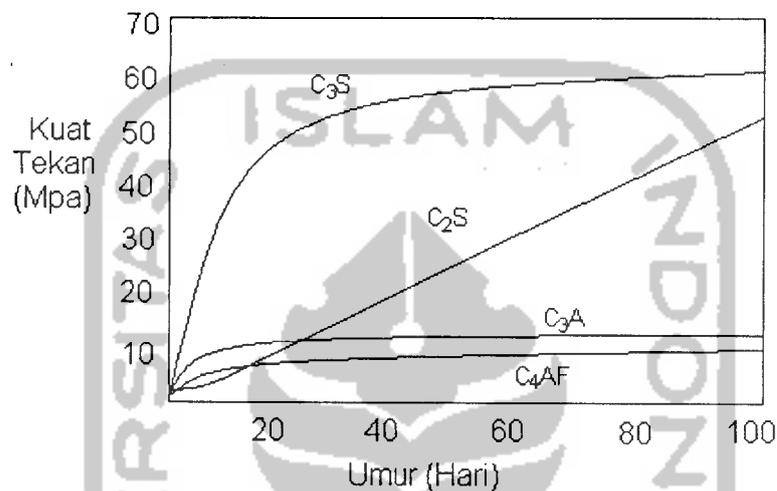
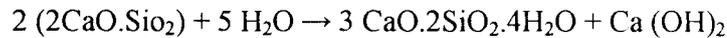
C₃S dan C₂S merupakan 2 unsur utama yang pertama yang menempati kurang lebih 70 % - 80 % dari seluruh proporsi semen sehingga merupakan yang paling dominan dalam memberikan sifat semen (Kardiyono, 1992). Bila semen

terkena air maka C_3S akan segera berhidrasi dan menghasilkan panas. Selain itu, unsur ini juga berpengaruh besar terhadap pengerasan semen, terutama setelah mencapai umur 14 hari. Sebaliknya C_3S bereaksi dengan air lebih lambat sehingga hanya berpengaruh terhadap pengerasan semen setelah lebih dari 7 hari, dan memberikan kekuatan akhir. C_2S ini juga membuat semen tahan terhadap serangan kimia dan akan mempengaruhi susut pengeringan. Unsur C_3A berhidrasi secara exothermic, dan bereaksi sangat cepat, memberikan kekuatan sesudah 24 jam.

C_3A bereaksi dengan air sebanyak kira-kira 40 % beratnya, namun karena jumlah unsur ini yang sedikit maka pengaruh terhadap jumlah air hanya sedikit. Unsur C_3A ini sangat berpengaruh pada panas hidrasi tertinggi, baik selama pengerasan awal maupun pengerasan selanjutnya yang panjang. Semen mengandung unsur ini lebih dari 10 % akan kurang tahan terhadap serangan asam sulfat. Oleh karena itu semen tahan sulfat tidak boleh mengandung unsur C_3A terlalu banyak (maksimum 5 % saja). Semen yang terkena asam sulfat (SO_4) di dalam air atau tanah disebabkan karena keluarnya C_3A yang bereaksi dengan sulfat, dan mengembang, sehingga terjadi retak-retak pada beton.

Unsur C_3AF kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen atau beton. Namun sejumlah unsur C_3A dan C_3AF tetap ditambahkan pada semen mengingat pengaruhnya terutama untuk menurunkan temperatur dalam kilang atau tanur pembakaran dan memfasilitasi kombinasi kapur dan silika pada proses produksi semen (Neville, 1975). Untuk lebih jelasnya pengaruh keempat senyawa kimia tersebut terhadap unsur pengerasan semen dapat dilihat pada gambar 3.1.

Proses hidrasi pada semen cukup rumit, tidak semua reaksi dapat diketahui secara terperinci. Reaksi dari unsur C_2S dan C_3S adalah sebagai berikut (Kardiyono, 1992).



Gambar 3.1. Hubungan umur dengan kuat tekan pada unsur-unsur semen
(Kardiyono, 1992)

Hasil utama pada proses reaksi hidrasi diatas adalah $C_3S_2H_3$ yang biasa disebut *Tobemorit* yang berbentuk gel dengan sifat seperti bahan perekat. Panas hidrasi juga dikeluarkan Selama proses berlangsung. Hasil lainnya adalah kapur, yang merupakan sisa proses tersebut. Kapur bebas ini akan mengurangi kekuatan semen karena kemungkinan larut dalam air, lalu menguap yang menyebabkan poreus. Penggunaan bahan pozzolan sebagai bahan tambah pada penelitian ini dimaksudkan untuk mengikat kapur bebas tersebut, sehingga diharapkan dapat terjadi reaksi penghasil zat perekat yang memperkuat mortal semen. Dari uraian

tersebut tampak bahwa persentase yang berbeda dari unsur-unsur yang ada dalam semen membuat semen memiliki sifat dan fungsi yang berbeda-beda.

Reaksi kimia antara semen dengan air menghasilkan senyawa-senyawa yang disertai pelepasan panas. Kondisi ini mempunyai resiko besar terhadap penyusutan kering beton dan cenderung retak pada beton.

3.2.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai pengisi dalam campuran beton yang memiliki ukuran butiran < 5 mm. Agregat halus atau pasir dapat berupa pasir alam, sebagai hasil disintegrasi alam dari batuan, atau debu dari pecahan batu yang dihasilkan dari mesin pemecah batu (*stone crushe*). Di dalam penelitian ini digunakan pasir alam sebagai agregat halus dari Clereng kab. Sleman DI Yogyakarta.

3.2.3. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil dari disintegrasi alami dari batuan alam atau berupa batu pecah dengan ukuran 5 – 40 mm (Kusuma dan Vis, 1993). Berdasarkan berat jenisnya, agregat kasar digolongkan menjadi 3 golongan sebagai berikut ini (Kardiyono, 1992).

a. Agregat ringan

Agregat ringan adalah agregat yang mempunyai berat jenis lebih kecil dari 2,0 gram/cm³ yang biasanya dibuat sebagai beton ringan.

b. Agregat normal

Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya antara 2,5 – 2,7 gram/cm³, dimana agregat ini biasanya berasal dari basalt, granit, kuarsa dan sebagainya. Adapun beton yang dihasilkan berat jenisnya 2,3 gram/cm³.

c. Agregat berat

Agregat berat adalah agregat yang memiliki berat jenis lebih dari 2,8 gram/cm³, misalnya magnetik (Fe₃SO₄), barit (BaSO₄) atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan dari jenis agregat ini memiliki berat jenis tinggi sampai dengan 5 gram/cm³, dan biasanya digunakan sebagai pelindung radiasi.

3.2.4 Air

Dalam campuran beton air mempunyai dua buah fungsi, yang pertama untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan, dan kedua, sebagai pelicin campuran kerikil, pasir, dan semen agar mudah dikerjakan dan dipadatkan (Murdock dan Brook, 1991).

Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 20% - 30% dari berat semen, tetapi dengan nilai faktor air semen yang kecil, adukan beton menjadi sulit dikerjakan. Maka diberi kelebihan jumlah air yang dipakai sebagai pelumas. Tambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan turun dan menghasilkan beton yang poreus (Kardiyono, 1992). Selain itu kelebihan air akan mengakibatkan air akan keluar bersama-sama dengan semen bergerak kepermukaan adukan beton segar yang baru di tuang (*bleeding*) yang kemudian menjadi buih untuk membentuk lapisan

tipis (*laitance*) yang akan mengurangi lekatan antara lapisan-lapisan beton yang merupakan bidang sambung yang lemah.

Air yang memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai campuran beton adalah air minum, tetapi tidak berarti air pencampur beton harus memenuhi persyaratan air minum. Secara umum air yang dipakai untuk mencampur beton ialah air yang bila dipakai akan menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90 % dari kekuatan beton yang memakai air suling. Kekuatan beton akan turun apabila air pencampur mortal beton tercampur dengan kotoran. Dalam pemakaiannya air sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut (Kardiyono, 1992).

1. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gram/liter tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
2. Tidak mengandung klorida (Cl_2) lebih dari 0,5 gram/liter.
3. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Untuk perawatan beton, dapat digunakan air yang dipakai untuk pengadukan, tetapi harus yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan hingga tidak sedap dipandang. Besi dan zat organik dalam air umumnya sebagai penyebab utama pengotoran atau perubahan warna, terutama jika perawatan cukup lama.

Dalam penelitian ini air yang digunakan didalam campuran adukan beton adalah air yang diambil dari PAM Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP Universitas Islam Indonesia.

3.3 Bahan Tambah Pozzolan

Bahan tambah mineral berupa pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika atau silika alumina dan alumina yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu normal membentuk senyawa kalsium hidrat dan kalsium silikat hidrat yang bersifat hidrolis dan mempunyai angka kelarutan yang cukup rendah.

Menurut ASTM C 618 – 86 mutu pozzolan dibedakan menjadi 3 kelas, di mana tiap-tiap kelas ditentukan komposisi kimia dan sifat fisiknya. Pozzolan mempunyai mutu yang baik apabila jumlah kadar $\text{SiO}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ tinggi dan reaktifitasnya tinggi dengan kapur. Ketiga kelas ini masing-masing pozzolan adalah sebagai berikut ini (Murdock dan Brook, 1991).

a. Pozzolan kelas N

Yaitu pozzolan alam atau hasil pembakaran, pozzolan yang dapat di olongkan didalam jenis ini seperti tanah diatomic, *apoline cherts* dan *shales*, *tuff*, dan abu vulkanik. Dimana bisa diproses melalui pembakaran yang memiliki sifat pozzolan yang baik.

b. Pozzolan kelas C

Yaitu jenis *fly ash* yang mengandung CaO diatas 10 % yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub bitumen batu bara.

c. Pozzolan kelas F

Yaitu jenis *fly ash* yang mengandung CaO kurang dari 10 % yang dihasilkan

dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batu bara.

Adapun sifat-sifat fisik dan kimia pozzolan yang distandarkan ditunjukkan lebih jelas pada tabel 3.3. dan tabel 3.4.

Tabel 3.3. Sifat fisik standar pozzolan (*Murdock dan Brook, 1991*)

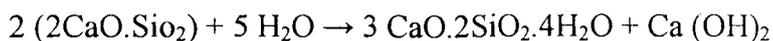
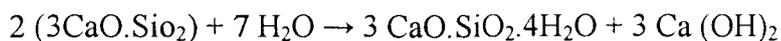
| Sifat fisik bahan | N | C | F |
|---|-----|-----|-----|
| Kehalusan : tertahan ayakan no 325 (% maksimum) | 34 | 34 | 34 |
| Pozzolan aktifitas indeks dengan PC pada 28 hari (% min) | 75 | 75 | 75 |
| Kebutuhan air maksimum (%) dari kontrol | 115 | 105 | 105 |

Tabel 3.4. Sifat kimia standar pozzolan (*Murdock dan Brook, 1991*)

| Sifat kimia bahan | N | C | F |
|--|-----|-----|-----|
| - $\text{SiO}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (% minimum) | 70 | 50 | 70 |
| - SO_3 (% maksimum) | 4 | 5 | 5 |
| - Na_2O (% maksimum) | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| - Kadar kelembaban (% maksimum) | 3 | 3 | 3 |
| - Loss ignition (% maksimum) | 10 | 6 | 12 |

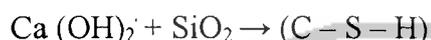
Pozzolan yang ditambahkan pada campuran adukan beton sampai batas tertentu dapat menggantikan semen untuk memperbaiki kecacakan dan menambah ketahanan beton dari serangan kimia (Swami, 1986). Penambahan bahan pozzolan juga dapat meningkatkan kekuatan beton. Dengan bahan pozzolan ini, sisa hasil reaksi hidrasi semen dapat menghasilkan semacam gel yang berfungsi sebagai bahan perekat, yang dapat diilustrasikan sebagai berikut (*Swami, 1986*)

1. Reaksi hidrasi semen



(semen) + (air) → pasta pengikat + sisa

2. Reaksi Pozzolonik



(sisa) + (pozzolan) → kalsium silikat hidrat (dalam bentuk gel)

menurut proses pembentukannya atau asalnya didalam ASTM 593 – 82,

bahan pozzolan dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu sebagai berikut :

1. Pozzolan alam

Adalah bahan alam yang merupakan sedimen dari abu atau lava gunung berapi yang mengandung silika aktif, yang bila dicampur dengan kapur padam akan mengadakan proses sementasi.

2. Pozzolan buatan

Adalah jenis pozzolan yang sebenarnya banyak macamnya, baik berupa sisa pembakaran dari tungku, maupun hasil pemanfaatan limbah yang diolah menjadi abu yang mengandung silika reaktif dengan melalui proses pembakaran.

3.4 Abu Sekam Padi (“Rice Hush Ash”)

Abu sekam padi merupakan abu yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi. Jika sekam padi (kulit padi padi yang dipakai setelah proses penggilingan) dibakar dalam kondisi terkontrol, abu sekam yang dihasilkan sebagai sisa

pembakaran, memiliki sifat pozzolonik yang tinggi, karena kandungan silikanya. Abu sekam padi termasuk pozzolan buatan kelas N karena diperoleh melalui proses pembakaran. Pembakaran sekam padi membantu menghilangkan kandungan kimia organik dan meninggalkan silika yang cukup banyak. Perlakuan panas terhadap silika dalam sekam berakibat pada perubahan struktur yang berpengaruh terhadap aktifitas pozzolan abu dan kehalusan butiran.

Pada mula-mula pembakaran yang suhunya mencapai 100 °C sekam padi akan kehilangan berat jenisnya, hal ini disebabkan oleh penguapan kandungan airnya. Pada suhu yang lebih tinggi lagi yaitu 350° C, zat-zat yang mudah menguap mulai terbakar dan semakin memperbesar kehilangan beratnya. Kehilangan berat terbesar terjadi pada suhu antara 400° C sampai 500° C dan pada tahap ini mulai terbentuk oksida karbon. Diatas suhu 600° C, ditemukan beberapa variasi formasi kristal quartz. Jika temperatur di tambah, maka sekam padi berubah bentuk menjadi kristal silika yang lain tergantung pada penambahan temperaturnya. Pada penambahan awal, kristal yang terbentuk adalah *crystalite* dan selanjutnya pada temperatur yang lebih tinggi adalah *tridimite*. Jika pembakaran melebihi suhu 800° C, akan dihasilkan bentuk dasar kristal silika. Meskipun demikian, abu sekam padi tidak akan meleleh sampai dengan suhu sekitar 1700° C (Cook, 1980 dan Swami, 1986).

Terjadinya fase-fase perubahan bentuk silika dalam abu tidak hanya tergantung pada suhu pembakaran saja, tetapi juga terhadap lama pembakarannya. Mehta (Swami, 1986), mengatakan bahwa sejumlah silika dalam bentuk tak beraturan dapat dihasilkan dengan mengatur suhu pembakaran dibawah 500° C dengan kondisi teroksidasi dalam waktu yang agak lama, atau pembakaran diatas

dengan kondisi teroksidasi dalam waktu yang agak lama, atau pembakaran diatas 600°C dengan waktu pembakaran kurang dari satu menit. Yeoh (Swami, 1986), juga memperlihatkan bahwa jika lama pembakaran tidak lebih dari satu jam pada suhu 900°C dihasilkan abu dengan bentuk kristal yang masih tidak beraturan. Jika pembakaran dilakukan selama lebih dari lima menit pada suhu 1000°C akan dihasilkan kristal silika. Umumnya bentuk-bentuk kristal dalam abu sekam diukur dengan menggunakan difraksi sinar x.

Terbentuknya kristal silika ternyata dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Ankra (dalam Swami, 1986) menambahkan bahwa lingkungan pembakaran juga mempengaruhi luas permukaan tersebut. Oleh karena itu, faktor suhu, waktu, dan lingkungan pembakaran harus dipertimbangkan dalam proses sekam padi untuk diproduksi menjadi abu yang memiliki tingkat reaktifitas yang maksimum.

Hasil akhir dari proses produksi yang diharapkan berupa abu sekam padi (berwarna putih keabu-abuan) dan bukan arang sekam padi (berwarna hitam), sehingga yang perlu diperhatikan adalah suhu pembakarannya. Adapun kandungan sifat kimia yang dimiliki dari abu dan silika dari beberapa tanaman dapat dilihat pada tabel 3.5 sebagai berikut :

Tabel 3.5. Kandungan abu dan silikat beberapa tanaman (Swami, 1986)

| Plant | Part of plant | Ash (%) | Silika (%) |
|------------|-------------------|---------|------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Sorghum | Leaf sheath ep | 12,55 | 8,70 |
| Weat | Leaf sheath | 10,48 | 90,56 |
| Corn | Leaf bade | 12,15 | 64,32 |
| Bamboo | Nodes (in. por) | 1,49 | 57,40 |
| Bagase | ----- | 14,71 | 73,00 |
| Lantana | Leaf and Stem | 11,24 | 23,28 |
| Sun Flower | Leaf and Stem | 11,53 | 25,32 |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------|-------|-------|-------|
| Rice Husk | ----- | 22,15 | 93,00 |
| Rice Straw | ----- | 14,65 | 82,00 |
| Breedfruit Tree | Stem | 8,64 | 81,80 |

Unsur kimia (inorganik) pokok abu sekam padi yang menguntungkan kapur bebas yang membentuk *gel* yang bersifat sebagai bahan perekat. Komposisi kimia abu sekam padi dapat dilihat pada tabel 3.6. selain itu, pertimbangan lain dari abu sekam padi sebagai bahan pozzolan di negara berkembang, sebagai negara penghasil beras, adalah biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan dan proses-proses produksinya relatif lebih murah dari pada pembuatan semen portland. Perkiraan biaya pembuatan abu sekam padi pertonnya sekitar sepertiga biaya pembuatan semen portland.

Tabel 3.6. Komposisi abu sekam padi (Swami, 1986)

| Komposisi kimia | Jumlah (% berat) |
|--------------------------------|------------------|
| SiO ₂ | 92,15 |
| Al ₂ O ₃ | 0,41 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,21 |
| CaO | 0,41 |
| MgO | 0,45 |
| Na ₂ O | 0,08 |
| K ₂ O | 2,31 |

Silika merupakan senyawa kimia pokok RHA yang dapat bereduksi dengan kapur yang menghasilkan kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang berbentuk gel (Swamy, 1986)

Alasan digunakan bahan pozzolan abu sekam padi (*rice husk ash*) sebagai bahan pengganti sebagian semen pada pembuatan adukan beton dikarenakan abu sekam padi (*rice husk ash*) mempunyai kandungan silika yang paling tinggi,

berkisar 86,9 % - 91,3 % (Wen-Hwei, 1986) serta menghasilkan abu lebih banyak dibandingkan dengan sisa pembakaran tumbuhan lain yaitu 20 % dari beratnya (Space and Cook, 1983) yang diharapkan dapat meningkatkan kekuatan beton seperti yang terdapat dalam tabel 3.5. dan komposisi sekam padi pada tabel 3.6. (Kusmara, 1990).

3.5 Faktor Air Semen

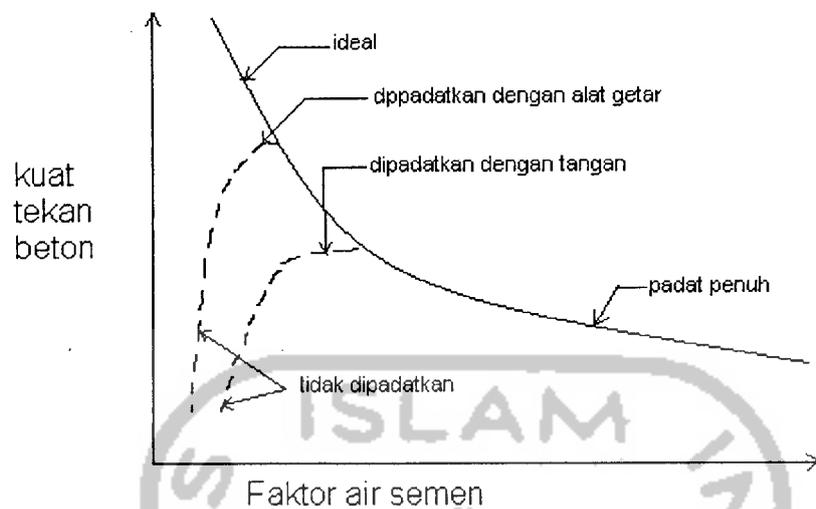
Faktor air semen (fas) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. Dalam penelitian ini penggunaan abu sekam padi beratnya dimasukkan dalam berat semen. Hubungan faktor air semen (fas) dan kuat desak beton secara umum dapat ditulis dengan rumus yang diusulkan *Duff Abrams (1919)* sebagai berikut.

$$f_{c'} = \frac{A}{B^{1.5x}}$$

Dimana : $f_{c'}$ = kuat desak beton
 x = faktor air semen

A, B = konstanta

Dari rumus di atas tampak bahwa semakin rendah nilai faktor air semen semakin tinggi kuat tekan betonnya, namun kenyataannya pada suatu nilai faktor air semen tertentu semakin rendah nilai faktor air semen kuat tekan betonnya semakin rendah pula (lihat Gambar 3.2.), hal ini terjadi jika faktor air semen terlalu rendah adukan beton sulit dipadatkan. Dengan demikian ada suatu nilai faktor air semen tertentu yang optimum yang menghasilkan kuat tekan beton yang maksimum.



Gambar 3.2. Hubungan faktor air semen dan kuat tekan beton

(Kardiyono, 1992)

3.6 Slump

Slump merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecikan suatu adukan beton. Tingkat kelecikan ini berkaitan erat dengan tingkat kemudahan pengerjaan (workabilitas). Makin besar nilai slump berarti semakin cair adukan betonnya, sehingga adukan beton semakin mudah dikerjakan. Nilai slump untuk berbagai macam struktur dapat dilihat pada tabel 3.7. sebagai berikut:

Tabel 3.7. Nilai slump berdasarkan penggunaan jenis elemen atau struktur

(Kardiono, 1992)

| Pemakaian Jenis Elemen / Struktur | Maks (cm) | Min (cm) |
|---|-----------|----------|
| • Dinding, pelat pondasi, dan pondasi telapak bertulang | 12,5 | 5,0 |
| • Pondasi telapak tidak bertulang, dan struktur bawah tanah | 9,0 | 2,5 |
| • Pelat, balok, kolom dan dinding | 15,0 | 7,5 |
| • Perkerasan jalan | 7,5 | 5,0 |
| • Pembetonan masal | 7,5 | 2,5 |

3.7 Workability

Kemudahan pengerjaan (*workability*) merupakan ukuran tingkat kemudahan adukan beton untuk dikerjakan, termasuk adukan, dituang dan dipadatkan. Perbandingan bahan-bahan penyusun beton dan sifat-sifat bahan penyusun beton, secara bersama-sama mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan adukan beton. Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan dikerjakan :

1. Jumlah air yang dipakai dalam campuran adukan beton. Jumlah air ini akan mempengaruhi konsistensi adukan, yaitu semakin banyak air yang digunakan maka adukan akan semakin cair, sehingga makin mudah untuk dikerjakan.
2. Jumlah semen yang digunakan. Penambahan jumlah semen kedalam campuran adukan beton akan memudahkan pengerjaan adukan beton, karena akan diikuti dengan penambahan air pada campuran untuk memperoleh nilai fas tetap.
3. Pemakaian bahan tambah *admixture* tertentu yang bertujuan untuk meningkatkan *workability* adukan pada fas rendah, misalnya dengan penambahan *plastizer* atau *air entrained*.

Adukan dengan tingkat kelecakan yang tinggi memiliki resiko yang besar terhadap *bleeding*. Hal ini akan terjadi karena bahan-bahan padat adukan beton mengendap dan bahan-bahan susun kurang mampu mengikat air.

Resiko *bleeding* dapat dikurangi dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Air campuran yang dipakai sebanyak yang diperlukan sesuai dengan hitungan *mix design*.
2. Pasir yang dipakai memiliki bentuk yang seragam dan memiliki kadar butiran yang halus.

3. Gradasi agregat yang dipakai sesuai dengan persyaratan yang ditentukan menurut metode yang digunakan.

3.8 Metode Perencanaan Adukan Beton

Metode perencanaan campuran yang digunakan pada penelitian ini adalah yang sesuai standar *American Concrete Institute (ACI)*. Salah satu tujuan yang hendak dicapai dengan perencanaan campuran dengan standar ACI adalah untuk menghasilkan beton yang mudah dikerjakan. Ukuran derajat kekentalan dan kemudahan pekerjaan dapat dilihat pada pengujian slump.

Secara garis besar urutan langkah perencanaan dengan cara ACI ialah sebagai berikut :

1. Perhitungan kuat desak beton

Perhitungan kuat desak beton rata-rata beton memiliki syarat terhadap nilai margin akibat pengawasan dan jumlah sampel yang ditambahkan pada pemjumlahan kuat desak rencana beton sesuai dengan rumus sebagai berikut:

$$f_{cr}' = f_c' + k.sd$$

Dengan : f_{cr}' = kuat desak rata-rata beton (kg/cm^3)

f_c' = kuat desak rencana beton (kg/cm^3)

k = tetapan statis. Untuk Indonesia memakai 5 % kegagalan
maka faktor $k = 1,64$

sd = standar deviasi berdasarkan tabel 3.9. dengan angka
konversi berdasarkan tabel 3.10.

Tabel 3.8. Nilai k untuk beberapa keadaan (*Kardiyono, 1992*)

| No | Keadaan | Nilai k |
|----|----------------------|---------|
| 01 | Untuk 10 % defektif | 1,28 |
| 02 | Untuk 5 % defektif | 1,64 |
| 03 | Untuk 2,5 % defektif | 1,96 |
| 04 | Untuk 1 % defektif | 2,33 |

Tabel 3.9. Nilai deviasi standar (kg/cm^2) (*Kardiyono, 1992*)

| Volume Pekerjaan (m^3) | Mutu Pekerjaan | | |
|--------------------------------------|----------------|---------------|---------------|
| | Baik sekali | Baik | Cukup |
| Kecil < 1000 | $45 < S < 55$ | $55 < S < 65$ | $65 < S < 85$ |
| Sedang 1000-3000 | $35 < S < 45$ | $45 < S < 55$ | $55 < S < 75$ |
| Besar > 3000 | $25 < S < 45$ | $35 < S < 45$ | $45 < S < 65$ |

Tabel 3.10. Faktor modifikasi simpangan baku (*Kardiyono, 1992*)

| Jumlah Sampel | Faktor pengkali standar deviasi |
|---------------|---------------------------------|
| ≥ 30 | 1,00 |
| 25 | 1,03 |
| 20 | 1,08 |
| ≤ 15 | 1,16 |

2. Menentukan faktor air semen (fas)

Faktor air semen ditentukan dari nilai terendah antara pengaruh kuat desak rata-rata (tabel 3.11) dan pengaruh keawetan elemen struktur terhadap kondisi lingkungan (tabel 3.12) sebagai berikut.

Tabel 3.11. Hubungan faktor air semen dengan kuat desak
(Kardiyono, 1992)

| Faktor air semen (fas) | Perkiraan kuat desak (Mpa) |
|------------------------|----------------------------|
| 0,35 | 42 |
| 0,44 | 35 |
| 0,53 | 28 |
| 0,62 | 22,4 |
| 0,71 | 17,5 |
| 0,80 | 14 |

Tabel 3.12. FAS berdasarkan pengaruh tempat elemen
(Kardiyono, 1992)

| Kondisi Elemen | Nilai FAS |
|--|-----------|
| 1 | 2 |
| 1) Beton dalam ruang bangunan | |
| a. Keadaan keliling korosif | 0,60 |
| b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif | 0,52 |
| 2) Beton diluar bangunan | |
| a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung | 0,60 |
| b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung | 0,60 |

| 1 | 2 |
|--|------|
| 3) Beton yang masuk kedalam tanah | 0,55 |
| a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-gati | 0,52 |
| b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah | |
| 4) Beton yang kontinyu berhubungan dengan | 0,57 |
| a. Air tawar | 0,52 |
| b. Air laut | |

3. Menentukan besarnya nilai slump

Nilai slump ditentukan berdasarkan ukuran maksimum agregat dan penggunaan elemen struktur.

Tabel 3.13. Nilai slump berdasarkan penggunaan jenis elemen

(Kardiyono, 1992)

| Pemakaian Jenis Elemen | Maks (cm) | Min (cm) |
|---|--------------|-------------|
| • Dinding, pelat pondasi, dan pondasi telapak bertulang | 12,5 | 5,0 |
| • Pondasi telapak tidak bertulang, dan struktur bawah tanah | 9,0 | 2,5 |
| • Pelat, balok, kolom dan dinding | 15,0 | 7,5 |
| • Perkerasan jalan | 7,5 | 5,0 |
| • Pembetonan masal | 7,5 | 2,5 |

4. Menetapkan jumlah air yang dibutuhkan

Jumlah kebutuhan air dalam setiap 1 m³ campuran adukan beton dapat ditentukan berdasarkan diameter maksimum agregat dan nilai slump, seperti pada tabel 3.14 sebagai berikut

Tabel 3.14. Perkiraan nilai slump berdasarkan ukuran maksimum agregat*(Kardiyono, 1992)*

| Slump | Ukuran Maksimum agregat (mm) | | |
|--------------------|------------------------------|-----|-----|
| | 10 | 20 | 30 |
| 25 – 50 | 206 | 182 | 162 |
| 75 – 100 | 226 | 203 | 177 |
| 150 – 175 | 240 | 212 | 188 |
| Udara Terperangkap | 3 % | 2 % | 1 % |

5. Menghitung kebutuhan semen berdasarkan hasil penentuan langkah ke dua (didapat dari nilai fas) dan ke-empat (didapat jumlah air) dengan membagi rasio kebutuhan air dengan fas.

$$fas = \frac{w_{air}}{w_{semen}} ; W_{semen} = \frac{w_{air}}{fas}$$

6. Menetapkan volume agregat kasar

Penetapan volume agregat kasar didasarkan pada tabel dibawah ini

Tabel 3.15. Perkiraan kebutuhan agregat kasar per- m³ beton berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus halus butir pasir (m³) *(Kardiyono, 1992)*

| Ukuran maksimum agregat (mm) | Modulus Halus Butir | | | |
|---------------------------------|---------------------|------|------|------|
| | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 3,0 |
| 10 | 0,46 | 0,44 | 0,42 | 0,40 |
| 20 | 0,65 | 0,63 | 0,61 | 0,50 |
| 40 | 0,76 | 0,74 | 0,72 | 0,70 |
| 80 | 0,84 | 0,82 | 0,80 | 0,78 |
| 150 | 0,90 | 0,88 | 0,86 | 0,84 |

7. Menghitung Agregat halus yang diperlukan

Perhitungan volume agregat halus didasarkan pada pengurangan volume absolut terhadap volume agregat kasar, volume semen, volume air serta persentase udara yang tertangkap dalam adukan.

8. Penambahan pozzolan abu sekam padi sebanyak 5 %, 10 % dan 15 % sebagai pengganti sebagian semen untuk setiap 1 m³ adukan.

3.9. Kekuatan Beton

Beton memiliki kuat desak yang jauh lebih besar dari pada kuat tariknya. Kuat desak beton tergantung pada sifat-sifat bahan dasarnya dan pada umumnya ditentukan oleh tingkat kekerasan agregatnya, namun perlu juga memperhatikan mutu pasta semennya, karena pasta semen merupakan bahan ikat yang mengikat agregat-agregat penyusun beton.

Agar kualitas beton yang dihasilkan memuaskan, maka perlu diperhatikan selama terjadinya proses pemadatan dan perawatan beton dengan penjelasan sebagai berikut :

1. Pemadatan adukan beton.

Tujuan pemadatan adukan beton adalah untuk mengurangi rongga-rongga udara agar beton mencapai kepadatan yang tinggi. Pemadatan dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara manual dan dengan menggunakan mesin pemadat bergetar (vibrator). Kekuatan beton yang dihasilkan dari pemadatan manual tergantung dari kemampuan tenaga manusia yang memadatkannya. Sedangkan beton dengan proses pemadatan menggunakan mesin penggetar dapat lebih tinggi kepadatannya, hal ini tergantung kepada metode serta kepiawaian pelaksana dari fakto operator manusianya. Selain itu mesin penggetar dapat digunakan pada campuran yang memiliki workability rendah.

2. Perawatan beton.

Reaksi kimia yang terjadi pada pengikatan dan pengerasan beton tergantung pada pengadaan airnya. Meskipun pada keadaan normal, air tersedia dalam jumlah yang memadai untuk proses hidrasi penuh selama pencampuran, perlu adanya jaminan masih ada air yang tertahan atau jenuh untuk memungkinkan kelanjutan reaksi kimia tersebut. Penguapan dapat mengakibatkan kehilangan air yang cukup berarti sehingga mengakibatkan terhentinya proses hidrasi, dengan konsekuensi berkurangnya peningkatan kekuatan. Oleh karena itu direncanakan suatu cara perawatan untuk mempertahankan beton supaya terus menerus berada dalam keadaan basah selama periode beberapa hari atau bahkan beberapa minggu dengan direndam dalam air pada satu bak.

3.10 Kuat Tekan Beton Setelah Pemanasan

Menurut Mindess, kuat tekan beton pada umumnya masih dapat dipertahankan pada temperatur sampai 300°C , diatas temperatur tersebut kuat tekan beton akan turun.

Warna yang terjadi selama pemanasan tidak akan berubah sampai dengan temperatur normal. Perubahan warna mulai terjadi pada temperatur 300°C , yaitu menjadi merah sampai pada temperatur 600°C . Pada temperatur 600°C warna menjadi abu-abu sampai dengan temperatur 1000°C . Jenis agregat yang diteliti adalah batu kapur dan batu silika (*Mindess, 1981*).

Neville (1975) pada dasarnya mengemukakan hal yang sama dengan Mindess, hanya perubahan warna kekuning-kuningan mulai terjadi pada temperatur 900° C.

Zoldner (*Hansen, 1976*) mengemukakan pengaruh pemanasan pada kuat tekan beton ringan dengan beberapa jenis agregat, tetapi perubahan warna yang terjadi tidak ada disebutkan. Kenaikan kuat tekan beton terjadi pada temperatur 200° C - 300° C tetapi kuat tekan beton akan turun menjadi lebih kecil dari 80 % pada temperatur 400° C dan pada temperatur 700° C kuat tekan beton tidak lebih dari 30 %.

Penelitian yang dilakukan oleh Ilham (1990) tidak menunjukkan kenaikan kuat tekan dari temperatur ruang sampai 300° C, tetapi kuat tekan beton turun menjadi 88,13 % pada temperatur 100° C, pada temperatur 200° C menjadi 85,07 % dan menjadi 75,22 % pada temperatur 300° C. jika pada sampai temperatur 800° C, kuat tekan beton turun menjadi 34,74 %. Agregat yang diteliti adalah pasir dan kerikil dari kali krasak, dengan semen jenis I merk Nusantara.