

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Umum

Beton merupakan bahan bangunan yang digunakan secara luas diperoleh dengan cara mencampurkan semen portland, air, dan agregat pada perbandingan tertentu dengan atau tanpa bahan tambah *pozzolan*. Reaksi yang terjadi antara semen dengan air akan membentuk suatu pasta pengikat dimana dalam jangka waktu tertentu akan mengeras. Beton yang mengeras dapat dianggap sebagai batuan tiruan, yang tersusun dari agregat kasar (batu pecah atau kerikil) dan agregat halus (pasir) yang mengisi rongga-rongga antara butiran yang lebih besar serta pasta semen dan bahan *pozzolan* yang mengisi rongga-rongga kecil antara butiran pasir.

Peningkatan kemampuan atau mutu beton yang sejalan dengan pengurangan fas yang dipergunakan berlaku juga pada beton struktur lainnya. Usaha lain adalah dengan pemanfaatan fenomena bahwa semakin padat mortar beton atau semakin kecil pori-pori yang ada semakin tinggi mutu beton yang dihasilkan. Pada mortar beton, semen dan air yang berupa pasta mengikat agregat halus dan kasar yang masih menyisakan rongga atau pori-pori yang tidak dapat terisi oleh butiran semen. Ruang yang tidak ditempati butiran semen merupakan rongga yang berisi udara dan air yang saling berhubungan yang disebut kapiler. Kapiler yang terbentuk akan tetap tinggal ketika beton telah mengeras, akibatnya

akan dapat berpengaruh terhadap turunnya kekuatan beton (*Antono, A, 1993*). Terbentuknya kapiler ini dapat diantisipasi dengan penggunaan bahan tambah pozzolan. Bahan tambah ini merupakan bahan khusus yang ditambahkan dalam mortar sebagai pengisi dan pada umumnya berupa bubuk mineral aktif (*Murdock dan Brook, 1986*).

3.2. Material Penyusun Beton

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

3.2.1 Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (*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	Persen
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

Walaupun demikian pada dasarnya dapat disebutkan 4 unsur yang paling penting yaitu dalam tabel 3.2.

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

Nama Unsur	Komposisi Kimia	Simbol
Trikalsium silikat	3 CaO . SiO ₂	C ₃ S
Dikalsium silikat	2 CaO . SiO ₂	C ₂ S
Trikalsium aluminat	3 CaO . Al ₂ O ₃	C ₃ A
Tetrakalsium Aluminoforit	4 CaO . Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

C₃S dan C₂S merupakan dua unsur utama yang pertama yang menempati kurang lebih 70 % - 80 % dari seluruh proporsi semen sehingga merupakan bagian

yang paling dominan dalam memberikan sifat semen (Tjokrodimulyo, 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 susutan pengeringan. Unsur C_3A berhidrasi secara exothermic, dan bereaksi sangat cepat, memberikan kekuatan sesudah 24 jam.

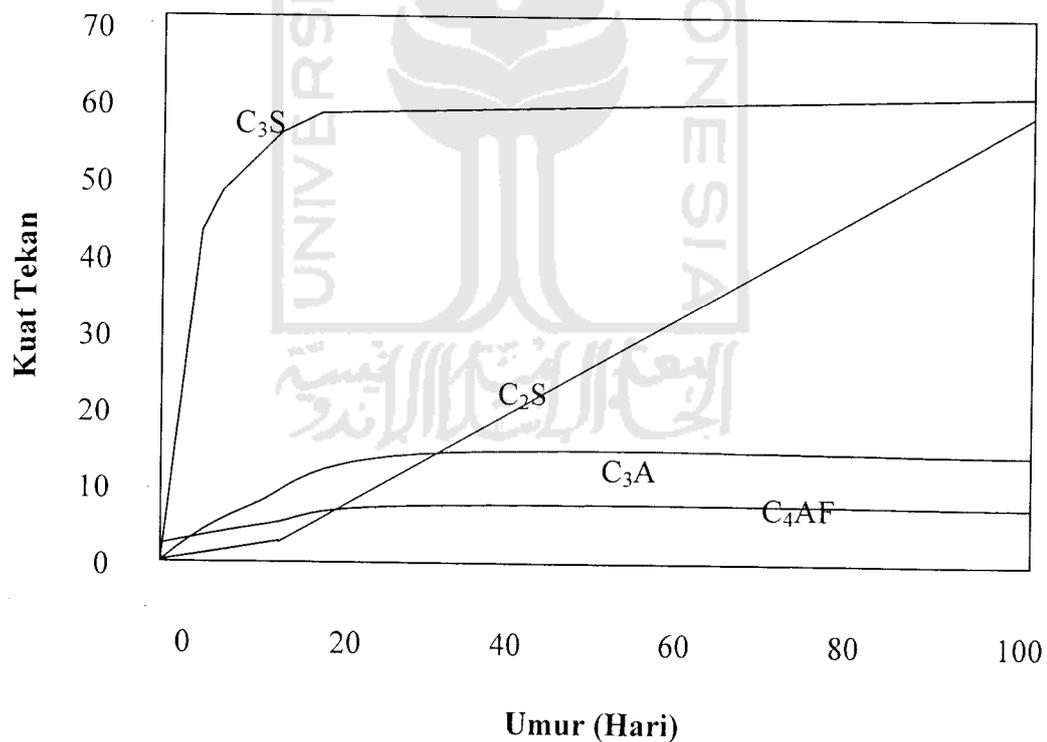
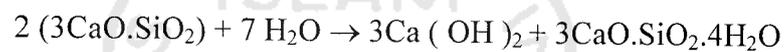
C_3A bereaksi dengan air sebanyak kira-kira 40 % beratnya, namun karena jumlah unsur ini yang sedikit maka pengaruhnya pada jumlah air hanya sedikit. Unsur C_3A ini sangat berpengaruh pada panas hidrasi tertinggi, baik selama pengerasan awal maupun pengerasan berikutnya yang panjang. Semen yang mengandung unsur ini lebih dari 10 % akan kurang 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) didalam air atau tanah disebabkan karena keluarnya C_3A yang bereaksi dengan sulfat, dan mengembang, sehingga terjadi retak-retak pada beton.

Unsur C_4AF kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen atau beton.

Namun sejumlah unsur C_3A dan C_4AF 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 diperlihatkan 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 ini (Kardiono, 1992)



Gambar 3.1 Hubungan umur dengan kuat tekan pada unsur-unsur semen

(Kardiono, 1992)

Proses hidrasi pada semen cukup rumit, tidak semua reaksi dapat diketahui

hasil utama dari proses reaksi hidrasi diatas adalah $C_3S_2H_3$ yang biasa disebut *Tobermorit* yang berbentuk gel dengan sifatnya 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 mortar semen. Dari uraian tersebut tampak bahwa prosentase yang berbeda dari unsur-unsur yang ada dalam semen membuat semen memiliki sifat dan fungsi yang berbeda-beda.

Semen portland dibuat dengan cara mencampur dan membakar bahan dasar semen dengan suhu $1550^{\circ}C$ dan menjadi klinker. Ketika semen dicampur dengan air, timbul reaksi kimia antara unsur-unsur penyusun semen dengan air. Reaksi-reaksi ini menghasilkan bermacam-macam senyawa kimia yang menyebabkan ikatan dan pengerasan (Kardiyono, 1992).

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

3.2.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang memiliki ukuran butiran < 5 mm. Agregat halus atau pasir dapat berupa pasir alam, sebagai hasil disinteregrasi alam dari

batuan, atau debu hasil dari pecahan batu yang dihasilkan mesin pemecah batu (*stone crushe*). Di dalam penelitian ini digunakan pasir alam sebagai agregat halus dari Boyong kab. Sleman DIY.

3.2.3 Agregat kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintrigasi alami dari batuan alam atau berupa batu pecah dengan ukuran 5 - 30 mm (Kusuma dan Vis, 1993). Berdasarkan berat jenisnya, agregat kasar dibedakan menjadi 3 golongan sebagai berikut ini (Kardiono, 1992).

a. Agregat normal

Agrgat normal adalah yang berat jenisnya antara 2,5- 2,7 gram/cm, dimana agregat ini biasanya berasal dari basalt, granit, kuarsa dan sebagainya. Adapun beton yang dihasilkan memiliki berat jenis sekitar 2,3 gram/cm³

b. 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.

c. Agregat Ringan

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

3.2.4 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting. Di 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 (Murdok dan Brook, 1991).

Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 20%-30% berat semen. Tetapi dengan nilai faktor air semen yang kecil, adukan beton menjadi sulit dikerjakan. Maka diberikan kelebihan jumlah air yang dipakai sebagai pelumas. Tambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan turun (Kardiyono, 1992).

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang paling murah tetapi sangat penting peranannya. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk mengadakan reaksi hidrasi dengan semen diperlukan sedikitnya 20 – 30 % jumlah air dari berat semen, namun pada kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sebesar 0,35 akan sulit dilakukan. Kelebihan air ini akan sebagai pelumas dengan catatan penambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan rendah dan menghasilkan beton yang poreus. Selain itu kelebihan air akan bersama-sama dengan semen bergerak ke permukaan adukan beton segar yang baru dituang (*bleeding*) yang kemudian menjadi buih untuk membentuk lapisan tipis (*laitance*) yang akan mengurangi

lekatan antara lapis-lapis 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 dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90 % dari kekuatan beton yang memakai air suling. Kekuatan beton akan turun apabila air pencampur mortar beton tercampur dengan kotoran. Dalam pemakaiannya air sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut ini (Kardiono, 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 khlorida (Cl_2) lebih dari 0,5 gram/liter
3. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter

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

Dalam penelitian ini air yang dipergunakan didalam campuran adukan beton pada penelitian ini 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 hidroulis dan mempunyai angka kelarutan yang cukup rendah.

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

a. Pozzolan kelas N

Yaitu pozzolan alam atau hasil pembakaran, pozzolan yang dapat digolongkan didalam jenis ini seperti tanah *diatomic*, *opaline cherts* dan *shales*, *tuff*, dan abu vulkanik (*pumicete*), dimana bisa diproses melalui pembakaran maupun tidak. Selain itu juga berbagai material hasil 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 batubara.

c. Pozzolan kelas F

Yaitu jenis *Fly Ash* yang mengandung CaO kurang dari 10 % yang dihasilkan dari pembakaran *antrhacite* 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
- $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (% 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 kelecakan dan menambah ketahanan beton dari serangan kimiawi (Swami,1986). Penambahan bahan pozzolan juga dapat meningkatkan kekuatan beton. Hal ini karena terjadi reaksi pengikatan kapur bebas, sisa proses hidrasi semen dan air. Dengan bahan pozzolan ini, sisa hasil reaksi hidrasi semen dapat menghasilkan semacam gel yang berfungsi sebagai bahan perekat, yang dapat diilustrasikan sebagai berikut

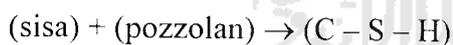
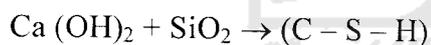
(Swami, 1986)

1. Reaksi hidrasi semen



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

2. Reaksi pozzolonik



Menurut proses pembentukannya atau asalnya didalam ASTM 593 – 82, bahan pozzolan dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu sebagai berikut ini :

1. Pozzolan alam

Adalah bahan alam yang merupakan sedimentasi 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 husk ash*").

Abu sekam padi merupakan abu yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi. Jika sekam padi (kulit 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. Proses pembakaran sekam sampai menjadi abu, 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. Kehilangan berat jenis sekam padi terjadi pada saat mula-mula pembakaran yang suhunya mencapai 100°C , hal ini diakibatkan oleh penguapan kandungan airnya. Pada suhu yang lebih tinggi lagi yaitu sekitar 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 ditambah, maka sekam padi berubah bentuk menjadi kristal silika yang lain, tergantung pada penambahan

temperaturnya. Pada penambahan awal, kristal yang terbentuk adalah *crystabolite* dan selanjutnya ada temperatur yang lebih tinggi adalah *tridymite*. 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 Swamy, 1986).

Terjadinya fase-fase perubahan bentuk silika dalam abu tidak hanya tergantung pada suhu pembakaran saja, tetapi juga terhadap lama pembakarannya. Mehta (Swamy, 1986), mengatakan bahwa sejumlah kristal silika dengan bentuk tak beraturan dapat dihasilkan dengan mengatur suhu pembakaran dibawah 500°C dengan kondisi teroksidasi dalam waktu yang agak lama, atau pembakaran diatas 600°C dengan waktu pembakaran kurang dari satu menit. Yeoh (Swamy, 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 sekama lebih dari lima menit pada suhu 1000 $^{\circ}\text{C}$ akan dihasilkan bentuk 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 Swamy, 1986), menambahkan bahwa lingkungan pembakaran juga mempengaruhi luas permukaan tersebut. Oleh karena itu, faktor waktu, suhu, 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 beberapa tanaman diperlihatkan pada tabel 3.4. sebagai berikut:

Tabel 3.5. Kandungan abu dan silika beberapa tanaman (Swamy, 1986)

Plant	Part of plant	Ash (%)	Silika (%)
Sorghum	Leaf sheath ep	12,55	8,70
Wheat	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
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 membentuk *gel* yang bersifat sebagai bahan perekat. Komposisi kimia abu sekam padi dapat dilihat pada tabel 3.6. Selain itu, pertimbangan lain dari

penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pozzolan di negara berkembang, sebagai negara penghasil beras, adalah biaya yang dikeluarkan untuk pembuatannya dan proses-proses produksinya relatif murah dari pembuatan semen portland. Menurut Cook, 1980 dan Swamy, 1986 perkiraan biaya pembuatan semen abu sekam padi pertonnya sekitar sepertiga biaya pembuatan semen portland.

Tabel 3.6. Komposisi abu sekam padi (Swamy,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

Berdasarkan tabel 3.5 diatas, silika merupakan senyawa kimia pokok RHA yang dapat bereduksi dengan kapur yang menghasilkan Kalsium Silikat Hidrat (C-S-H) yang berbentuk gel (Swamy, 1986).

Sekam padi menghasilkan abu yaitu 20 % dari beratnya (Space and Cook, 1983)

yang ditunjukkan dalam tabel 3.5. dan komposisi sekam padi pada tabel 3.6. (Kusmara, 1990)

Menurut Swamy 1986, jika sekam padi dibakar dalam kondisi terkontrol, RHA yang dihasilkan sebagai sisa pembakaran, mempunyai sifat pozzolan yang tinggi dan baik digunakan dalam campuran pozzolan kapur dan sebagai pengganti semen, karena kandungan silikanya. Sekam padi menghasilkan abu lebih banyak dibandingkan sisa pembakaran tumbuhan lain. Disamping itu, RHA mempunyai kandungan silika yang paling tinggi, berkisar 86,9 % - 91,3 % (Wen-Hwei, 1986).

3.5 Faktor Air Semen

Faktor air semen (fas) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. Hubungan antara faktor air semen (fas) dan kuat desak beton secara umum dapat ditulis dengan rumus yang diusulkan *Duff Abrams* (1919) sebagai berikut ini

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

Dimana :

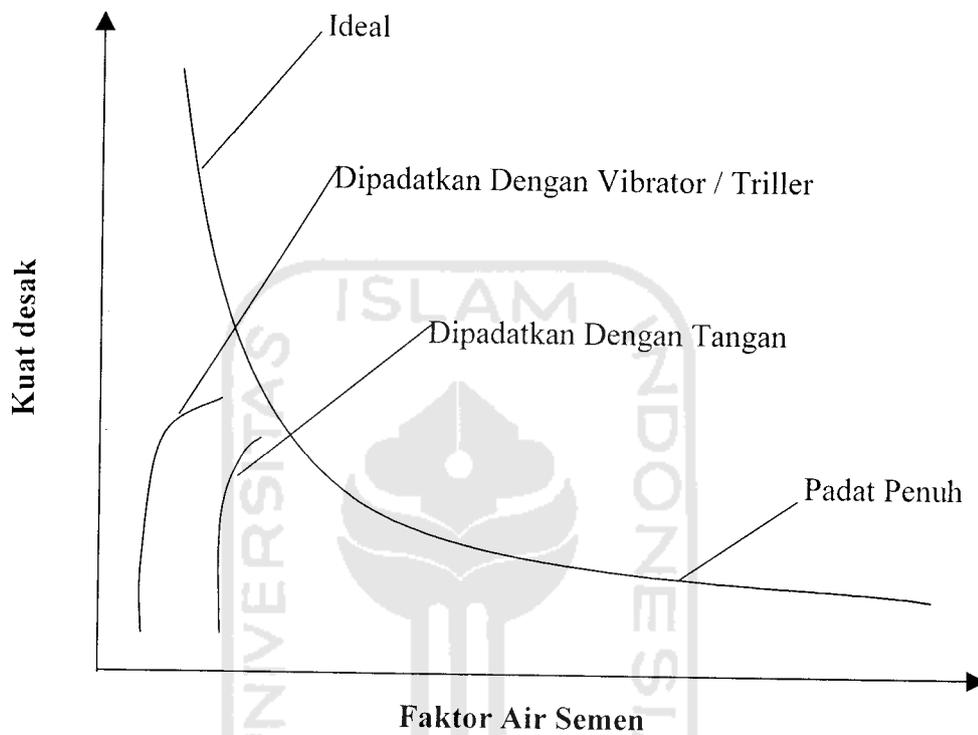
f_c' = kuat desak beton

X = faktor air semen

A, B = konstanta

Dengan demikian semakin besar fas maka semakin rendah kuat desak betonnya, seperti diperlihatkan pada gambar 3.2. Walaupun menurut rumus tersebut tampak bahwa semakin kecil faktor air semen semakin tinggi kuat desak betonnya akan

tetapi nilai *fas* yang rendah akan menyulitkan dalam pemadatan sehingga kekuatan beton akan rendah karena beton menjadi kurang padat, oleh sebab itu ada suatu nilai *fas* optimum yang menghasilkan kuat desak maksimum.



Gambar 3.2. Hubungan antara kuat desak beton dengan nilai faktor air semen (Kardiono, 1992).

3.6 Slump

Slump merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adukan beton. Tingkat kelecakan 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 diperlihatkan pada tabel 3.7. sebagai berikut:

Tabel 3.7. Nilai slump untuk berbagai macam struktur (Kardiono, 1992)

JENIS STRUKTUR	NILAI SLUMP	
	MINIMUM	MAKSIMUM
Pondasi bertulang, dinding, tiang	5	12,5
Tiang pondasi bertulang, caison	2,5	10
Pelat, balok, kolom	7,5	15
Beton untuk jalan (<i>pavement</i>)	5	7,5
Beton massa (struktur massa yang berat)	2,5	7,5

3.7 Workability

Kemudahan pengerjaan (*wokability*) 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 antara lain :

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 betonnya, karena akan diikuti dengan penambahan air 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 tinggi memiliki resiko yang besar terhadap *bleeding* atau *water gain*. Hal ini akan terjadi karena bahan-bahan padat adukan beton mengendap dan bahan-bahan susun kurang mampu mengikat air campuran. Resiko *bleeding* dapat dikurangi dengan langkah-langkah sebagai berikut ini :

1. Air campuran yang dipakai sebanyak yang diperlukan sesuai dengan hitungan *mix design*
2. Pasir yang dipakai memiliki bentuk seragam dan memiliki kadar butiran yang halus
3. Gradasi agregat yang dipakai sesuai dengan persyaratan yang ditentukan menurut metode yang dipakai

3.8 Metode Perencanaan Adukan Beton

penelitian ini menggunakan metode perencanaan campuran adukan beton sesuai standar *Amerika Concrete Institute (ACI)*. Salah satu tujuan yang hendak dipakai dengan perancangan campuran dengan standar *ACI* adalah untuk menghasilkan beton yang mudah dikerjakan. Ukuran derajat kekentalan dan kemudahan pengerjaan dapat dilihat pada pengujian *slump*.

Adapun tata cara urutan perencanaan campuran adukan beton menurut standar *ACI*

adalah sebagai berikut ini.

1. Perhitungan kuat desak rata-rata beton

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

$$f_{cr}' = f_c' + k \cdot sd$$

Dengan : f_{cr}' = kuat desak rata-rata betonKg/cm²

f_c' = kuat desak rencana betonKg/cm²

k = tetapan statistik. Untuk Indonesia memakai 5 % kegagalan (defectives) maka faktor $k=1,64$

sd = standar deviasi berdasarkan tabel 3.9 dengan angka konversi untuk sampel kurang dari 30 sampel tabel 3.10

Tabel 3.8 Nilai K untuk beberapa keadaan (Kardiono,1992)

	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) (Kardiono, 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 untuk data uji kurang dari 30 sampel (Kardiono, 1992)

Jumlah sampel	Faktor pengali 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 kubus beton umur 28 hari (Kardiono, 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 (Kardiono, 1992)

Kondisi Elemen	Nilai FAS
- Beton dalam ruangan bangunan	
a. Keadaan keliling korosif	0,60
b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	0,52
- Beton diluar bangunan	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
- Beton yang masuk kedalam tanah	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	0,52
- Beton yang kontinyu berhubungan dengan	
a. Air tawar	0,57
b. Air laut	0,52

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 (Kardiono, 1992)

Pemakaian Jenis Elemen	Maks (cm)	Min (cm)
Dinding, pelat pondasi, dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang, koison, dan struktur bawah tanah	9,0	2,5
Pelat, balok, kolom, dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan massal	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 (Kardiono, 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 didasarkan hasil penentuan langkah ke-dua (didapat nilai fas) dan ke-empat (didapat jumlah air) dengan membagi rasio kebutuhan air dengan nilai fas.

$$fas = \frac{wair}{wsemen} \qquad wsemen = \frac{wair}{fas}$$

6. Menetapkan volume agregat kasar

Penetapan volume agregat kasar didasarkan pada tabel dibawah ini

Tabel 3.15 Perkiraan kebutuhan agregat kasar per- m^3 beton berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus halus butir pasir (m^3) (Kardiono,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	0.59
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 volume agregat halus yang diperlukan

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

3.9 Kekuatan Beton

Beton memiliki kuat desak yang jauh lebih besar dari pada kuat tarikannya. Kuat desak beton tergantung pada sifat-sifat bahan dasarnya dan pada umumnya ditentukan oleh tingkat kekerasan agregatnya, namun perlu diperhatikan 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 ini

1. Tinjauan terhadap pemadatan beton,

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

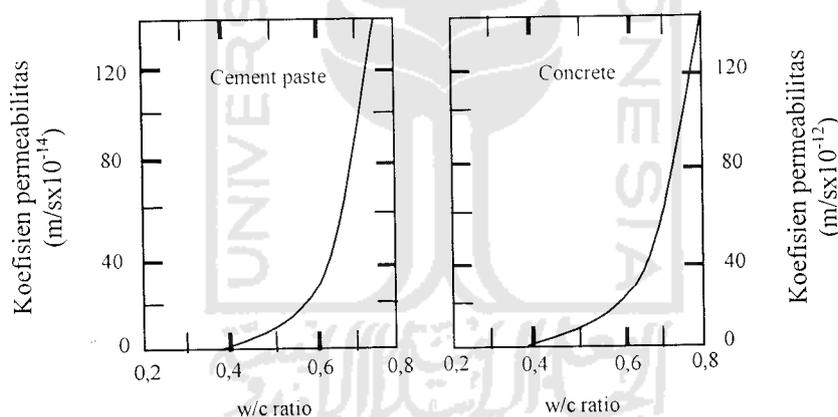
2. Tinjauan terhadap perawatan beton, reaksi kimia yang terjadi pada pengikatan dan pengerasan beton tergantung pada pengadaan airnya. Meskipun pada keadaan normal, air tersedia dalam jumlah yang memadai untuk proses hidrasi penuh selama pencampuran, perlu adanya jaminan bahwa masih ada air yang tertahan atau jenuh untuk memungkinkan kelanjutan reaksi kimia itu. Penguapan dapat menyebabkan 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 Permeabilitas Beton

Parameter utama yang memiliki pengaruh terbesar pada durabilitas (daya tahan) adalah rasio w/c. Bila rasio w/c turun, porositas pasta atau perekat turun dan beton lebih *impermeable* / tidak tahan air (tabel 3.15).

Grafik 3.1 Pengaruh Rasio w/c terhadap permeabilitas untuk pasta semen dan beton (J. Francis Young, Concrete)



Jadi permeabilitas beton berperan penting dalam durabilitas karena mengontrol angka pemasukan uap lembab yang mengandung kimia agresif dan gerakan air selama panas atau beku. Jika rasio w/c yang lebih rendah juga dapat menaikkan kekuatan beton maka ini meningkatkan resistensi terhadap kerusakan dari tekanan internal yang dihasilkan oleh reaksi-reaksi yang tidak sesuai.

Permeabilitas beton dapat diukur dengan determinasi angka arus angin lembab melalui lempeng beton. Porositas beton terletak pada pasta atau perekat,

karenanya permeabilitas beton harus terkontrol oleh pasta atau perekat, namun hal ini termodifikasi oleh kerusakan internal pada agregat semen yang saling berhadapan. Dan perlu diingat terlepas dari konsiderasi-konsiderasi durabilitas, arus air melalui beton dalam konstruksi perludiperhatikan.

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dengan adanya penambahan abu sekam apakah termasuk dalam beton yang *impermeable/permeable*. Pada beton yang *impermeable*/tidak tahan air dapat digunakan sebagai struktur tahan air dan konstruksi bawah tangga. Arus air melalui perekat semen menurut hukum *D'Arcy's* untuk arus yang melalui medium menggunakan rumus : (*J. Francis Young, Concrete*)

$$V = Kp (L/X)$$

dimana : V = kecepatan arus air, L = ujung air/tekanan hidrolik, X = ketebalan bahan percobaan, Kp = koefisien permeabilitas untuk perekat semen tidak tetap, tergantung pada koefisien rasio w/c dan umur perekat (tabel 3.16). Hal ini karena Kp tergantung kuat pada porositas kapiler perekat, yang dikontrol oleh rasio w/c dan tingkat hidrasi. Ada pembenaran dalam sudut pandang ini, karena seperti terlihat pada tabel 3.15 dan tabel 3.16 bahwa Kp bervariasi sepanjang magnitude.

Tabel. 3.17 Efek usia pasta semen pada koefisien permeabilitas ($w/c = 0,51$)

(J. Francis Young, Concrete)

Age (days)	Kp (m/s)
Fresh paste	10^{-5} Independent of w/c
1	10^{-8}
3	10^{-10}
4	10^{-9}
7	10^{-11}
14	10^{-12}
28	10^{-13}
100	10^{-16}
240 (maximum hydration)	10^{-18}

Dalam perekat yang matang koefisien permeabilitas sangat kecil meskipun porositas totalnya tinggi dan pada order sama yang diobservasi untuk batu berporositas rendah. Dengan demikian bahwa air tidak mudah bergerak melalui pori-pori gel yang sangat kecil dan permeabilitas dikontrol oleh suatu jaringan kerja pori-pori kapiler yang saling berhubungan. Sebagai hasil hidrasi, jaringan kapiler menjadi sangat berbelit-belit karena pori-pori yang saling berkaitan dipenuhi oleh formasi C-S-H. Ini disertai oleh penurunan yang berlanjut dalam Kp, dan waktu terjadinya discontinuitas sempurna untuk pori-pori kapiler merupakan fungsi rasio w/c. tabel. 3.17.

Tabel 3.18 Waktu pengawetan yang dibutuhkan untuk menghasilkan sistem kapiler diskontinu (J. Francis Young, Concrete)

W/c Ratio	Curing time (days)
0,40	3
0,45	7
0,50	28
0,60	180 (6 months)
0,70	365 (1 years)
> 0,70	not possible

Dalam beton dengan rasio w/c lebih besar dari 0,70, discontinuitas sempurna pori-pori kapiler tidak pernah dapat dicapai, bahkan dengan perawatan basah yang kontinu, dan beton akan memiliki permeabilitas yang relatif tinggi. Bahkan setelah pori-pori kapiler terisolasi secara sempurna oleh daerah-daerah C – S – H dan porositas gel yang menyertai, K_p terus menurun karena susunan-susunan magnitude. Hal ini bukan hanya karena peningkatan dalam ketebalan C-S-C antara kapiler, namun juga karena kenyataan bahwa kalsium hidroksida terus bertambah dalam pori-pori kapiler residual, dengan demikian membentuk daerah-daerah impermeabel. Batasan nilai K_p terjadi bila semua porositas kapiler telah dieliminasi, dan pasti menjadi kurang dari 10^{-22} m/s (J. Francis Young, Concrete).

Jika perekat dibiarkan kering dan dibasahi lagi, koefisien permeabilitas menjadi lebih tinggi. Hal ini karena perubahan dalam distribusi ukuran pori-pori

yang terjadi pada penyusutan dan pori-pori kapiler menjadi saling berhubungan lagi secara parsial. Efeknya bahkan lebih kelihatan pada beton karena kerusakan pada agregat perekat yang saling berhadapan akan menciptakan kesempatan lebih panjang bagi mengalirnya air. Bahkan pada beton-beton jenuh, permeabilitas akan dinaikan oleh konsolidasi atau pemisahan *excessive* materi yang tidak sempurna, yang dapat menciptakan saluran-saluran dalam perekat. Nilai-nilai permeabilitas khusus untuk beton yang digunakan dalam dam-dam berkisar dari 8 sampai 35×10^{-12} m/s (2,6 sampai $11,5 \times 10^{-11}$ ft/s) (J. Francis Young, Concrete).

