

TUGAS AKHIR

**PENELITIAN LABORATORIUM
PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH ABU SEKAM
PADI (*RICE HUSK ASH*) TERHADAP KUAT DESAK
DAN PERMEABILITAS BETON**

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
Untuk memenuhi sebagai persyaratan memperoleh
Derajat Sarjana Teknik Sipil**

Disusun oleh :

**Nama : Heru Dwi Hantara
No. Mhs. : 95 310 024
NIRM : 950051013114120024**

**Nama : Arif Faidlur Rohman
No. Mhs. : 95 310 040
NIRM : 950051013114120039**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1999**

TUGAS AKHIR
PENELITIAN LABORATORIUM
PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH ABU SEKAM PADI
(RICE HUSK ASH) TERHADAP KUAT DESAK DAN
PERMEABILITAS BETON

Disusun oleh:

Nama : Heru Dwi Hantara
No. Mhs. : 95 310 024
NIRM : 950051013114120024

Nama : Arif Faidlur Rohman
No. Mhs. : 95 310 040
NIRM : 950051013114120039

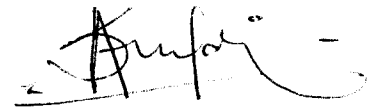
Telah diperiksa dan disetujui oleh :

IR. H. M. Samsudin, MT.

Dosen Pembimbing I

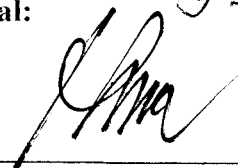
IR. Kasam, MT.

Dosen Pembimbing II



Tanggal:

9-02-2000



Tanggal:

9-02-2000

KATA PENGANTAR

*Bismillahirrohmanirrohim
Assalamu'alaikum Wr.Wb.*

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmad dan ridlo-Nya kepada kita semua, khususnya kepada penyusun, karena dengan Kasih dan Sayang-Nyalah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Sholawat dan salam semoga terlimpah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW beserta para keluarga, sahabat dan pengikutnya hingga akhir hayat.

Tugas Akhir dalam bentuk penelitian laboratorium dengan judul “PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH ABU SEKAM PADI (*RICE HUSK ASH*) TERHADAP KUAT DESAK DAN PERMEABILITAS BETON” ini kami ajukan sebagai syarat guna memperoleh derajat strata satu (S1) pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Hal ini tidak terlepas dari dukungan serta sumbangan pikiran berbagai pihak yang selalu memberikan motivasi dalam menghadapi hambatan yang terjadi selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan. Untuk itu dengan segala keikhlasan hati penyusun haturkan terima kasih kepada :

1. Bapak DR. Ir. Widodo M.S.C.E., PhD, selaku dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. H. M. Samsudin, M.T., selaku Dosen Pembimbing I.
3. Bapak Ir. Kasam, M.T., selaku Dosen Pembimbing II.

4. Bapak, Ibu tercinta, Kakak dan Adik yang telah banyak memberi bantuan dan dorongan moril maupun materiil dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Saudara Rifqi Dewobroto S.T., selaku pemberi masukan dan ide tentang Tugas Akhir ini.
6. Segenap karyawan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik dan karyawan di lingkungan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, serta segenap karyawan Laboratorium Mekanika Bahan PAU, Universitas Gajah Mada.
7. Rekan-rekan mahasiswa seperjuangan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
8. Pihak-pihak lain yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini terdiri dari lima (5) bab, dengan sistematis penyusun sebagai berikut :

BAB	I. PENDAHULUAN
BAB	II. TINJAUAN PUSTAKA
BAB	III. LANDASAN TEORI
BAB	IV. METODOLOGI PENELITIAN
BAB	V. PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN
BAB	VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Penyusun menyadari dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan kesalahan. Untuk itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang bersifat konstruktif dalam pengembangan dimasa mendatang. Penyusun

berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa teknik sipil dan pembaca pada umumnya.

Akhir kata semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua sehingga kita sebagai hamba-Nya bisa senantiasa mensyukuri nikmat yang telah diberikan oleh-Nya dan kita dapat selalu berkreasi untuk mencapai hal yang lebih baik dari apa yang telah kita peroleh sekarang. Amiin.

*Wallahul muwafiq ila aqwamiththoriq
Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Yogyakarta, Desember 1999

Penyusun
**HERU DWI HANTARA
ARIF FAIDLUR ROHMAN**

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
INTISARI	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Lingkup Permasalahan	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	6
BAB III. LANDASAN TEORI	8
3.1 Umum	8
3.2 Material Penyusun Beton	9
3.2.1 Semen Portland	9
3.2.2 Agregat Halus	13
3.2.3 Agregat Kasar	14
3.2.4 Air	15

3.3 Bahan Tambah Pozzolan	17
3.4 Abu Sekam Padi (<i>rice husk ash</i>)	20
3.5 Faktor Air Semen	24
3.6 Slump	25
3.7 Workability	26
3.8 Metode Perencanaan Adukan Beton	27
3.9 Kekuatan Beton	33
3.10 Permeabilitas Beton	35
BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN	40
4.1 Standar tes dan Spesifikasi Bahan	40
4.2 Alat-alat Yang Digunakan	42
4.3 Prosedur Penelitian	44
4.4 Perencanaan Perhitungan Campuran Beton	48
4.5 Pembuatan Campuran Beton	51
4.6 Pengujian Slump	51
4.7 Pembuatan Benda Uji	51
4.8 Perawatan Benda Uji	52
4.9 Pengujian Benda Uji	53
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	56
5.1 Hasil Penelitian	56
5.2 Modulus Elastis Dan Modulus Kenyal Beton	64
5.3 Hasil Analisis Permeabilitas Beton	73
5.4 Pembahasan	75
5.4.1 Tinjauan Umum	75
5.4.2 Kuat Desak Beton	75

5.4.3 Permeabilitas Beton	79
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	81
6.1 Kesimpulan	81
6.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN	84

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Susunan unsur dalam semen (Neville, 1975)	10
Tabel 3.2 Komposisi unsur utama semen portland (Neville, 1975)	10
Tabel 3.3 Sifat fisik standart pozzolan (Murdock dan Brook, 1991)	18
Tabel 3.4 Sifat kimia standart pozzolan (Murdock dan Brook, 1991)	18
Tabel 3.5 Kandungan abu dan silika beberapa tanaman (Swamy, 1986)..	22
Tabel 3.6 Komposisi abu sekam padi (Swamy, 1986)	23
Tabel 3.7 Nilai slump untuk berbagai macam struktur (Kardiono, 1992).	26
Tabel 3.8 Nilai K untuk beberapa keadaan (Kardiono, 1992).....	28
Tabel 3.9 Nilai deviasi standar ($\frac{kg}{cm^2}$) (Kardiono, 1992)	29
Tabel 3.10 Faktor modifikasi simpangan baku untuk data uji kurang dari 30 sampel (Kardiono, 1992).....	29
Tabel 3.11 Hubungan faktor air semen dengan kuat kubus beton umur 28 hari (Kardiono,1992).....	30
Tabel 3.12 FAS berdasarkan pengaruh tempat elemen (Kardiono,1992)	30
Tabel 3.13 Nilai slump berdasarkan penggunaan jenis elemen (Kardiono, 1992)	31
Tabel 3.14 Perkiraan nilai slump berdasarkan ukuran maksimum agregat (Kardiono,1992)	32
Tabel 3.15 Perkiraan kebutuhan agregat kasar per- m^3 beton berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus halus butir pasir (m^3) (Kardiono, 1992)	33
Tabel 3.17 Efek usia pasta semen pada koefisien permeabilitas ($\frac{w}{c} =$ 0.51) (J. Francis Young, Concrete)	37

Tabel 3.18 Waktu pengawetan yang dibutuhkan untuk menghasilkan sistem kapiler diskontinu (J. Francis Young, Concrete)	38
Tabel 4.1 Gradasi pasir alam asal sungai Progo	41
Tabel 4.2 Alat-alat yang dipakai	43
Tabel 5.1 Hasil kuat desak beton dengan jenis beton standar normal	57
Tabel 5.2 Hasil kuat desak beton dengan jenis dengan variasi penambahan <i>rice hush ask</i> 5%.	58
Tabel 5.3 Hasil kuat desak beton dengan jenis dengan variasi penambahan <i>rice hush ask</i> 10%.	59
Tabel 5.4 Hasil kuat desak beton dengan jenis dengan variasi penambahan <i>rice hush ask</i> 15%.	60
Tabel 5.5 Hasil kuat desak beton dengan jenis dengan variasi penambahan <i>rice hush ask</i> 20%.	61
Tabel 5.6 Hasil hitungan tegangan (σ) dan regangan (ε) untuk beton normal	65
Tabel 5.7 Hasil hitungan modulus elastis dan modulus kenyal untuk beton normal	66
Tabel 5.8 Hasil hitungan tegangan (σ) dan regangan (ε) untuk beton dengan variasi <i>rice hush ask</i> 5%	67
Tabel 5.9 Hasil hitungan modulus elastis dan modulus kenyal untuk beton normal dengan variasi <i>rice hush ask</i> 5%	67
Tabel 5.10 Hasil hitungan tegangan (σ) dan regangan (ε) untuk beton dengan variasi <i>rice hush ask</i> 10%	68
Tabel 5.11 Hasil hitungan modulus elastis dan modulus kenyal untuk beton normal dengan variasi <i>rice hush ask</i> 10%	69
Tabel 5.12 Hasil hitungan tegangan (σ) dan regangan (ε) untuk beton dengan variasi <i>rice hush ask</i> 15%	70
Tabel 5.13 Hasil hitungan modulus elastis dan modulus kenyal untuk beton normal dengan variasi <i>rice hush ask</i> 15%	70

Tabel 5.14 Hasil hitungan tegangan (σ) dan regangan (ε) untuk beton dengan variasi <i>rice hush ask</i> 20%	71
Tabel 5.15 Hasil hitungan modulus elastis dan modulus kenyal untuk beton normal dengan variasi <i>rice hush ask</i> 20%	72
Tabel 5.16 Hasil perhitungan koefisien permeabilitas	73
Tabel 5.17 Hasil perhitungan koefisien permeabilitas beton	74
Tabel 5.18 Kuat desak rata-rata masing-masing variasi	75
Tabel 5.19 Hasil modulus elastis (E_c) dan modulus kenyal (E_K)	78

DAFTAR GAMBAR DAN GRAFIK

	Halaman
Gambar 3.1 Hubungan umur dengan kuat tekan pada unsur- unsur semen (Kardiono, 1992)	12
Gambar 3.2 Hubungan antara kuat desak beton dengan nilai faktor air semen (Kardiono, 1992)	25
Gambar 4.1 Uji permeabilitas pada benda uji	45
Gambar 4.2 Bagan alir prosedur penelitian	47
Gambar 5.1 Grafik antara variasi dengan kuat desak ($f'c$)	62
Gambar 5.2 Grafik antara variasi dengan kuat desak rata-rata ($f'cr$)	63
Grafik 3.1 Pengaruh rasio w/c terhadap permeabilitas untuk pasta semen dan beton	35

INTISARI

Perkembangan teknologi industri tidak hanya memberikan dampak positif saja terhadap manusia akan tetapi juga menimbulkan implikasi negatif. Salah satu contoh implikasi negatif tersebut adalah dengan menimbunnya jumlah limbah produksi industri. Kemajuan teknologi sederhana dan tingkat madya sedang digalakkan di Indonesia terutama teknologi dalam perencanaan konstruksi bangunan. Beton merupakan salah satu elemen konstruksi yang sekarang masih murah harganya dibandingkan dengan elemen struktur lainnya. Untuk itu pemanfaatan abu sekam padi (*rice husk ash*), dengan kandungan silika yang tinggi sebesar 86.9%-91.3%, dapat digunakan sebagai bahan pozzolan, dan sebagai bahan alternatif pengganti sebagian semen.

Suatu studi komparasi pemanfaatan limbah industri dalam perencanaan adukan beton telah dikembangkan salah satunya adalah penelitian yang mengambil topik tentang Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*) Terhadap Kuat Desak Dan Permeabilitas Beton. Dengan cara melakukan uji kuat desak dan permeabilitas beton dengan menggunakan abu sekam padi 10% yang paling baik sebagai pengganti sebagian semen.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pemakaian pozzolan *rice husk ash* akan mengurangi pemakaian semen seberat 45,9740 kg untuk setiap 1 m³ adukan beton. Untuk beton normal memiliki kuat desak beton karakteristik sebesar 26,8003 Mpa, sedang untuk beton dengan penambahan pozzolan *rice husk ash* 10% yang paling baik memiliki kuat desak karakteristik sebesar 38,686176 Mpa atau mengalami kenaikan sebesar 48,6187102%. Dari hasil pengujian permeabilitas beton menunjukkan bahwa, nilai koefisien permeabilitas beton normal di dapat $9,3 \times 10^{-12}$ m/det dengan penetrasi rata-rata 1,35 cm. Sedang nilai koefisien permeabilitas beton terrendah didapat pada penambahan pozzolan *rice husk ash* sebesar 10% yaitu $1,3 \times 10^{-14}$ m/det.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan dalam bidang industri tidak hanya memiliki implikasi yang positif akan tetapi juga dapat memiliki implikasi yang negatif seperti hasil bahan limbah industri yang setiap harinya menumpuk. Begitu pula dalam hal perkembangan teknologi dibidang konstruksi yang tidak pernah terlepas dari upaya penciptaan alternatif teknologi yang cukup inovatif. Usaha yang serius terhadap upaya perkembangan teknologi yang inovatif perlu didukung oleh beberapa penelitian. Penelitian yang sudah sering dilakukan secara umum pada dasarnya menggunakan teknologi sederhana dan tingkat madya yang memanfaatkan sumber daya lokal termasuk pemanfaatan limbah industri belumlah banyak.

Dalam kondisi perekonomian negara seperti ini semua komponen masyarakat harus mampu untuk bersaing dalam membuat suatu inovasi dalam usahanya memenangkan suatu kompetisi. Pemanfaatan limbah industri di negara kita belumlah optimal, masih diperlukan suatu kajian yang mendalam dan lebih teliti yang nantinya dapat memberikan suatu masukan yang cukup positif dalam pemanfaatan limbah industri tersebut.

Suatu hasil samping dari industri khususnya industri dalam skala kecil yang dikelola dengan suatu manajemen sederhana yaitu industri pembuatan bata merah adalah hasil pembakaran sekam padi yang biasanya dinamakan abu

sekam padi (*rice husk ash*) yang relatif banyak ditemukan pada seluruh pelosok negeri ini, khususnya pada daerah yang memiliki karakteristik tanah yang dapat dipakai sebagai bahan batu bata merah.

Dalam usaha mencapai suatu identitas tentang alternatif yang cukup kompetitif tersebut haruslah ada semacam usaha penelitian untuk menghasilkan produk inovatif dalam perencanaan adukan beton. Pemanfaatan limbah sebagai bahan tambah adalah limbah industri pembuatan batu bata merah yang berupa abu sekam padi (*rice husk ash*). Dalam makalah ini penulis mencoba memaparkan hasil penelitian laboratorium dengan tema *Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi (Rice Husk Ash) Terhadap Kuat Desak dan Permeabilitas Tanah*.

1.2 Lingkup Permasalahan

- a. Pada industri pembuatan batu bata merah yang menghasilkan limbah abu sekam padi (*rice husk ash*) yang relatif banyak ditemukan di daerah-daerah sekitar yang dari hari ke hari semakin menumpuk sehingga menimbulkan dampak negatif pada lingkungan sekitar (pencemaran lingkungan) dan kurang optimal dalam pemanfaatan limbah abu sekam padi (*rice husk ash*) tersebut.
- b. Pada penelitian-penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya belum optimal, hanya terbatas pada kuat desak beton saja sehingga perlu diadakan penelitian lebih lanjut diantaranya pengujian permeabilitas.

- c. Bahan ikat yang digunakan dalam pembuatan beton atau mortar biasanya adalah semen. Semen merupakan bahan pengikat yang cukup mahal harganya, sehingga dalam campuran adukan beton (*mix design*) diusahakan untuk menggunakan proporsi semen seefisien mungkin.

Oleh karena itu perlu diadakan suatu penelitian menggunakan alternatif bahan tambah pozzolan yaitu limbah industri *rice husk ash* yang bertujuan dapat mengurangi proporsi jumlah semen tanpa mengurangi kekuatannya.

Pada perencanaan campuran adukan beton yang diteliti adalah pengaruh penambahan bahan pozzolan *rice husk ash* terhadap kuat desak dan permeabilitas beton.

Di dalam analisis perencanaan desain campuran adukan beton (*mix design*) digunakan metode perancangan adukan beton sesuai dengan standar *American Concrete Institute (ACI)*. Penyederhanaan *mix design* dilakukan sebagai upaya pemakaian analisis yang cukup sederhana agar lebih mudah dipahami semua orang dan lebih mudah dijadikan sebagai acuan perencanaan adukan beton dilapangan.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan beton normal dengan beton yang menggunakan limbah industri abu sekam padi pada nilai kuat desak dan permeabilitas beton.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil analisis dan perancangan diharapkan dapat menghasilkan suatu produk beton struktur yang bermanfaat dengan implikasi sebagai berikut

1. Dapat menghasilkan beton struktur yang memenuhi syarat yang cukup inovatif dengan pengurangan sejumlah semen akibat pemakaian bahan pozzolan.
2. Pemakaian pozzolan abu sekam padi (*rice husk ash*) dapat memberikan kontribusi terhadap penyelamatan lingkungan dengan adanya pengurangan jumlah bahan limbah industri tersebut.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini dititik-beratkan sesuai dengan tujuan penelitian sehingga perlu adanya batasan-batasan sebagai berikut

1. Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan diameter maksimum 30 mm.
2. Agregat halus digunakan pasir dari sungai Boyong Yogyakarta.
3. Perawatan yang diberikan pada penelitian ini dilakukan dengan cara direndam dalam air.
4. Jumlah benda uji yang digunakan sebanyak 30 buah dengan 5 variasi (0%, 5%, 10%, 15%, 20%) pada uji kuat desak beton masing-masing variasi 5 benda uji, sedang pada uji permeabilitas beton masing-masing variasi 2 benda uji.
5. Dimensi satu benda uji untuk uji kuat desak beton menggunakan silinder berukuran tinggi 300 mm dan diameter 150 mm, sedang benda uji untuk uji

permeabilitas beton menggunakan silinder berukuran tinggi 150 mm dan berdiameter 150 mm.

6. Bahan ikat adalah semen, digunakan semen jenis I merk Gresik
7. Air yang digunakan berasal dari laboratoium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia.
8. Uji kuat desak beton dilakukan pada umur 28 hari, dilaksanakan laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia, sedangkan uji permeabilitas beton dilakukan pada umur 28 hari, dilaksanakan di laboratorium Mekanika Bahan PAU, Universitas Gajah Mada.
9. Abu sekam padi diambil dari perusahaan batu bata merah di daerah Pleret, Kabupaten Bantul, DI Yogyakarta.
10. Abu sekam yang digunakan merupakan abu sekam yang lolos pada saringan nomor 150.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hasil Penelitian Yang Pernah Dilakukan

Penelitian ini merupakan suatu usaha untuk menghasilkan inovasi dalam pembuatan beton struktur dengan beberapa referensi penelitian sebagai berikut ini.:

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Sabilirrahman dan Anas Daro Muhyana menyimpulkan bahwa pemakaian bahan tambah berupa abu sekam padi (*rice husk ash*) sebagai bahan pengganti semen sebanyak 9 % dari berat semen portland pada mortar semen akan menghasilkan kuat desak yang optimum sebesar 277,6 kg/cm² lebih besar dari pada campuran mortar tanpa abu sekam padi yaitu 246,76 kg/cm², sehingga muncul kenaikan kuat desak sebesar 12,52 %. Selain itu pemakaian abu sekam padi sebagai bahan tambah akan mengurangi berat jenis dari mortar dibandingkan dengan mortar tanpa menggunakan bahan tambah abu sekam padi. Penurunan berat mortar beton semakin bertambah sebanding dengan penambahan abu sekam padi (*Sabilirrahman dan Anas Daro Muhyana, 1996*).

Dalam penelitian yang dilakukan Rifqi dan surya ini dapat diambil kesimpulan bahwa dengan adanya penambahan pozzolan abu sekam padi (*rice husk ash*) sebanyak 9 % dapat mengurangi semen sampai seberat 28,89 kg untuk setiap 1 m³ adukan semen dan diperoleh kuat desak beton mencapai 23,5866 Mpa

atau mengalami kenaikan kuat desak sebesar 43,32 % dibandingkan dengan kuat desak beton normal (*Rifqi Dewobroto dan Surya Adinata, 1999*).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Teguh Pandit Wirawan menarik kesimpulan yaitu bahwa dengan adanya penambahan abu sekam padi (*rice husk ash*) sebagai pozzolan dan kapur padam untuk mereduksi sebagian semen pada bata beton pejal akan menurunkan kuat tekannya. Kuat tekan yang didapat dari bata beton lokal sekitar 14,45 kg/cm² (produksi Putra Makmur) dan 16,10 kg/cm² (produksi Diamont) memiliki kuat tekan dibawah standar dari hasil penelitian. Selain itu secara keseluruhan variasi campuran yang paling efektif adalah campuran 1 : 1,8 dengan kadar abu sekam 40 % dan campuran 1 : 1 : 10 dengan kadar abu sekam di 30 % dan campuran 1 : 1 : 12 dengan kadar abu sekam 10 % ((PC + RHA) : KP : PS) (*Teguh Pandhit Wirawan, 1997*).

Penelitian yang dilakukan oleh Agus Setyo Muntohar menyimpulkan bahwa penambahan kapur dan abu sekam padi (RHA) akan mempengaruhi karakteristik mekanis tanah lempung. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan RHA (pada variasi LRHA. 0-10%) memberikan hasil yang cukup memuaskan terhadap peningkatan parameter kuat geser tanah dibandingkan pada LRHA 10-0%.Peningkatan nilai modulus elastisitas tanah (E) sejalan dengan peningkatan sifat mekanisnya. Nilai E, yang dinyatakan oleh *initial tangent modulus* berkisar antara 200,2 kPa 205,1kPa. Sedangkan nilai *secant modulus* bervariasi pada regangan 0-2 %, dan 2-6 %.Perilaku tanah lempung pada penambahan LRHA. 0-10% dan LRHA.20-0% adalah mengalami keruntuhan getas. Oleh karena itu perlu dikaji lebih lanjut pengaruhnya dalam aplikasi di lapangan (*Agus Setyo Muntohar, 1999*).

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.

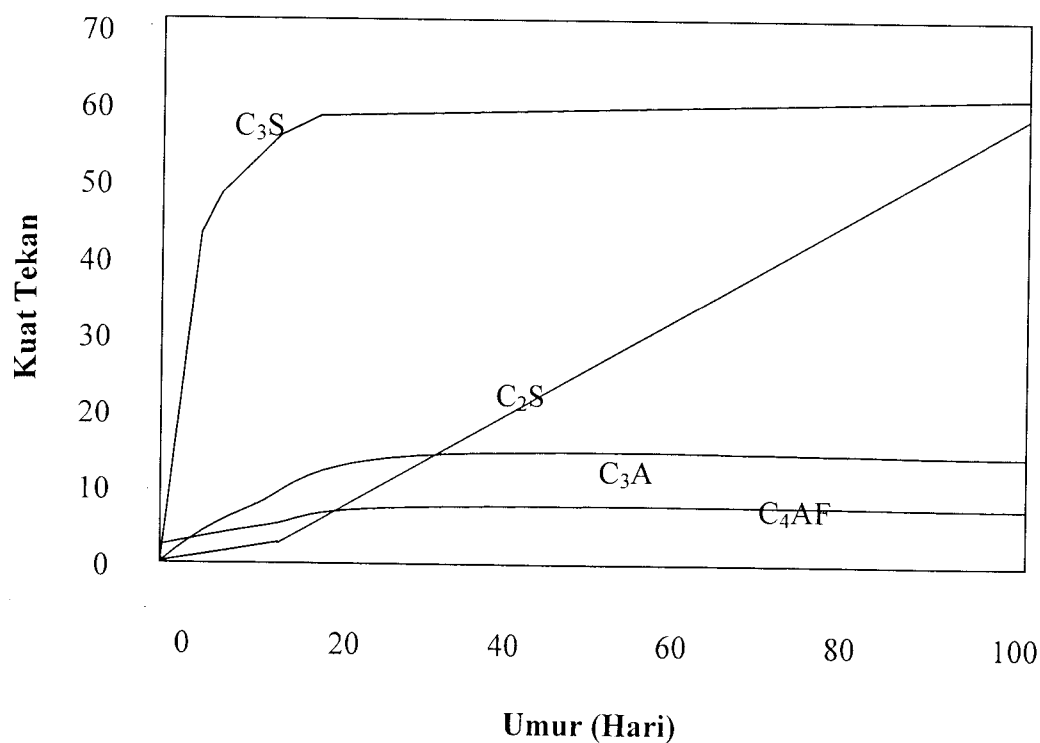
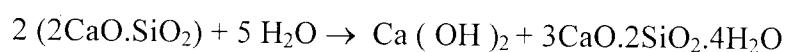
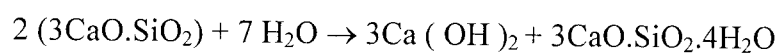
C_3A bereaksi dengan air sebanyak kira-kira 40 % beratnya, namun karena jumlah unsur ini yang sedikit maka pengaruhnya pada jumlah air hanya sedikit. Unsur C_3A ini sangat berpengaruh pada panas hidrasi tertinggi, baik selama pengerasan awal maupun pengerasan berikutnya yang panjang. Semen yang mengandung 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 1550^0 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 klorida (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 organik 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

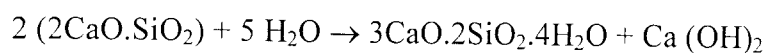
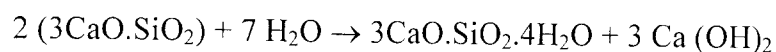
Tabel 3.4. Sifat kimia standar pozzolan (Murdock dan Brook, 1991)

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

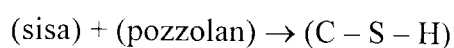
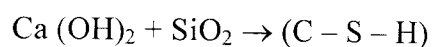
(Swami, 1986)

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 *crystabolyte* 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 (f_a) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. Hubungan antara faktor air semen (f_a) 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 :

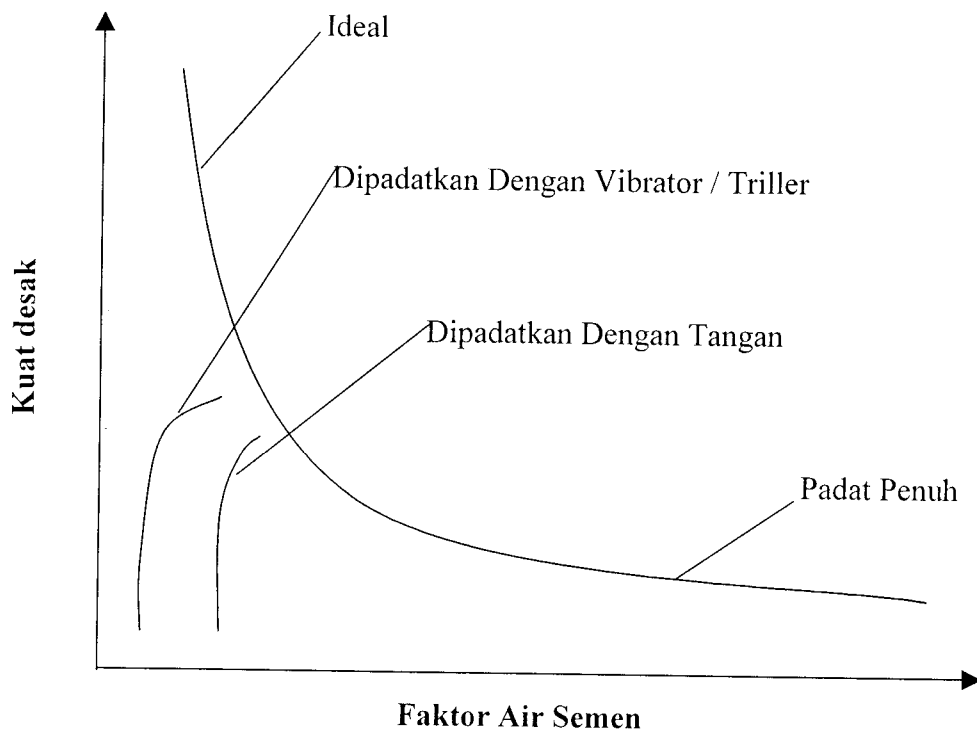
f_c' = kuat desak beton

X = faktor air semen

A, B = konstanta

Dengan demikian semakin besar f_a 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% defekti	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.

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

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

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 kepiawaian pelaksana dari faktor operator manusianya. Selain itu mesin penggetar dapat digunakan pada campuran yang memiliki workability rendah.

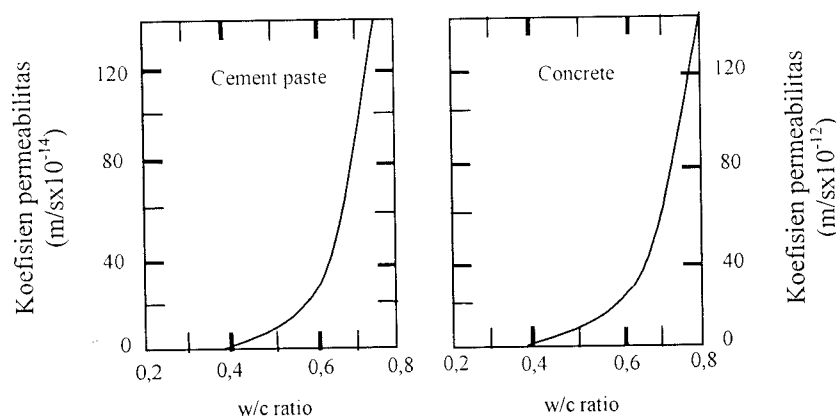
2. Tinjauan terhadap perawatan beton, reaksi kimia yang terjadi pada pengikatan dan pengerasan beton tergantung pada pengadaan airnya. Meskipun pada keadaan normal, air tersedia dalam jumlah yang memadai untuk proses hidrasi penuh selama pencampuran, perlu adanya jaminan bahwa masih ada air yang tertahan 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 perlu diperhatikan.

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*)

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

dimana : V = kecepatan arus air, L = ujung air/tekanan hidrolik, X = ketebalan bahan percobaan, K_p = koefisien permeabilitas untuk perekat semen tidak tetap, tergantung pada koefisien rasio w/c dan umur perekat (tabel 3.16). Hal ini karena K_p 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 K_p 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).

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Standar Tes dan Spesifikasi Bahan

Dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan pengujian dan klasifikasi terhadap bahan penyusun campuran beton. Adapun bahan-bahan penyusun tersebut adalah sebagai berikut :

1. Semen Portland

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen portland jenis I merk Gresik dengan data sebagai berikut :

- a. Berat jenis : 3,15 gram/cm³
- b. Tipe Semen : Tipe I

2. Agregat halus

Pada penelitian ini digunakan agregat halus berupa pasir alam dengan data bahan sebagai berikut :

- a. Asal pasir : Sungai Boyong
- b. Berat jenis : 2,5158 gram/cm³

Adapun modulus halus butir (mhb) dari pasir diatas ditunjukkan dengan tabel

4.1. sebagai berikut :

Tabel 4.1 Gradasi pasir alam asal sungai Boyong

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)		Berat tertinggal (%)		Berat Tertinggal (%) Komulatif	
	I	II	I	II	I	II
percobaan						
4,80	0,4	0,2	0,026	0,01338	0,0267	0,01338
2,40	108,9	106,1	7,2736	7,09936	7,3003	7,11274
1,20	198,5	208,3	13,2581	13,93777	20,5584	21,05051
0,60	388,7	386,2	25,9618	25,84142	46,5202	46,89193
0,30	431,4	434,5	28,8138	29,07327	75,334	75,9651
0,15	292,8	286,7	19,5565	19,18367	94,8905	95,14887
Sisa	75,5	72,5	5,1095	4,85113	-	-
Jumlah	1495,2	1494,5	100	100	244,630	246,1825
Jumlah rata-rata	1495,35		100		245,4063	

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir (mhb)} &= \frac{\% \text{ berat tertinggal}}{100} \\
 &= \frac{245,4063}{100} \\
 &= 2,45
 \end{aligned}$$

3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat batu alam pecah dengan data sebagai berikut :

1. Asal agregat : Sungai Progo
2. Berat jenis (SSD) : 2,381 gr/cm³
3. Berat Volume Agregat : 1531,132075 kg/m³

4. Air

Air yang digunakan didalam penelitian ini adalah air Pam Laboratorium Bahan Kontruksi Teknik FTSP UII.

5. Bahan Pozzolan

Penelitian ini memakai bahan pozzolan berupa abu sekam padi merupakan hasil limbah pembakaran pembuatan bata di daerah Pleret Bantul Yogyakarta, setelah lolos ayakan no 150.

4.2 Alat-alat Yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini akan ditampilkan di dalam tabel 4.2 berikut ini

Tabel 4.2 Alat-alat yang dipergunakan.

No	Alat	Kegunaan
1.	Oven	Pengering agregat
2.	Piring logam	Menampung agregat di oven
3.	Mesin siever	Pengayak mekanik
4.	Ayakan	Menyaring agregat
5.	Timbangan	Menimbang bahan-bahan
6.	Gelas ukur	Menakar air
7.	Ember	Menampung agregat
8.	Kerucut abrams	Pengujian slump
9.	Cangkul	Mengaduk agregat
10.	Sekop kecil	Memasukkan adukan ke dalam cetakan
11.	Penggaris	Mengukur slump
12.	Tongkat penumbuk	Memadatkan benda uji
13.	Cetakan silinder	Tempat mencetak benda uji
14.	Kapiler	Mengukur diameter benda uji
15.	Mesin uji desak	Uji desak beton
16.	Alat uji permeabilitas	Uji permeabilitas beton
17.	Kolam perendam	Menjaga kelembaban beton/perawatan beton

4.3 Prosedur penelitian

Prosedur penelitian ini digambarkan dalam bagan alir berikut ini:

1. Tahap perumusan masalah

Tahap ini meliputi perumusan terhadap topik penelitian, termasuk perumusan tujuan, serta pembatasan terhadap permasalahan.

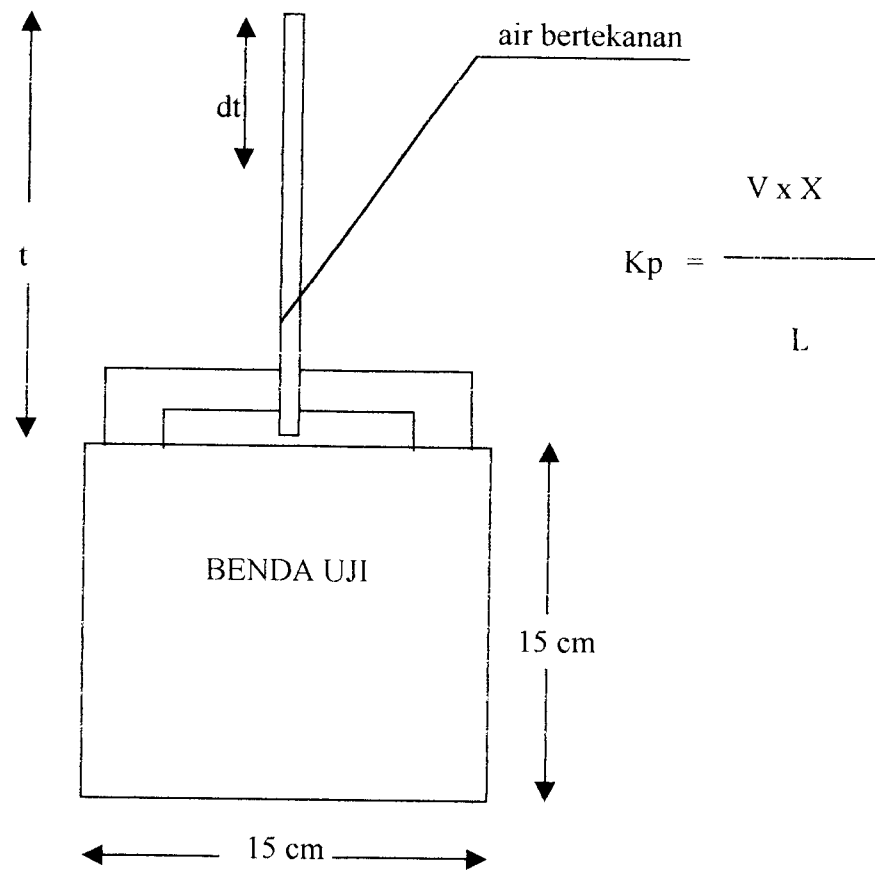
2. Tahap perumusan teori

Pada tahap ini dilakukan pengkajian pustaka terhadap teori yang melandasi penelitian serta ketentuan-ketentuan yang dijadikan acuan dalam pelaksanaan penelitian.

3. Tahap pelaksanaan penelitian

Pelaksanaan penelitian disesuaikan dengan jenis penelitian dan hasil yang ingin didapat. Pada penelitian ini dilaksanakan di laboratorium teknik sipil meliputi:

- pemeriksaan bahan campuran beton
- perencanaan campuran beton
- pembuatan campuran beton
- pengujian slump
- pembuatan benda uji
- perawatan benda uji
- pengujian benda uji



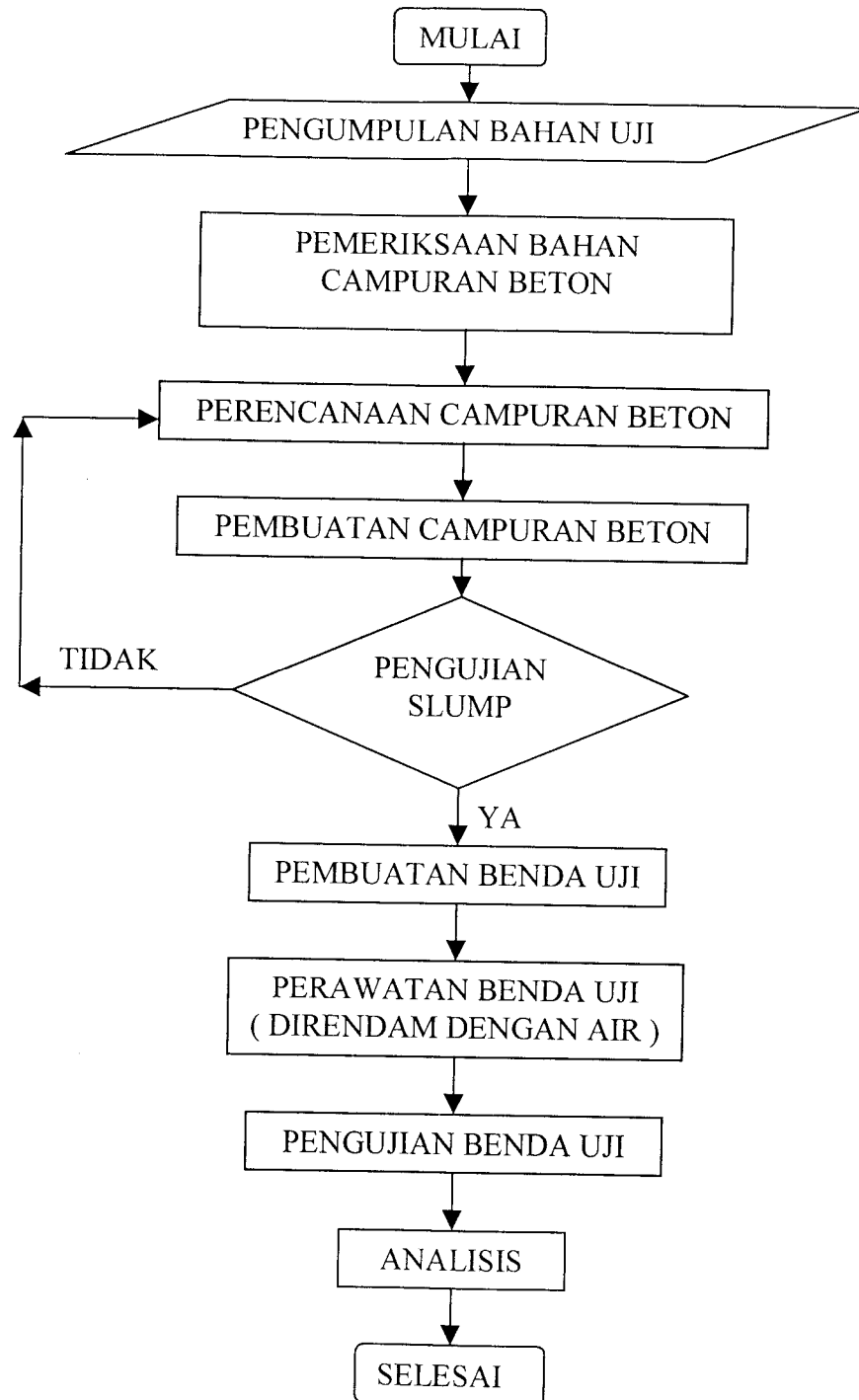
Gambar 4.1. Uji permeabilitas pada benda uji

4. Tahap analisa dan pembahasan

Analisa dilakukan terhadap hasil uji laboratorium. Hasil uji laboratorium tersebut dicatat dan dibandingkan terhadap hipotesa. Pembahasan dilakukan terhadap hasil penelitian ditinjau berdasarkan teori yang melandasi.

5. Tahap penarikan kesimpulan

Dari hasil laboratorium dapat diambil kesimpulan berdasarkan teori yang digunakan untuk menjawab pemecahan terhadap permasalahan.



Gambar 4.2. Bagan alir prosedur penelitian

4.4. Perencanaan Perhitungan Campuran Beton

Perencanaan perhitungan campuran beton didalam penelitian ini menggunakan metode standar ACI dengan data sebagai berikut

1. Kuat desak rencana : 30 Mpa
2. Diameter agregat : 30 mm
3. Modulus halus butir (mhb) pasir : 2,5
4. Berat jenis pasir (SSD) : 2,5158 gram/cm³
5. Berat jenis kerikil (SSD) : 2,381 gram/cm³
6. Berat volume agregat kasar : 1531,132075 kg/m³
7. Berat jenis semen : 3,15 gram/cm³

Adapun langkah-langkah perhitungan perencanaannya adalah sebagai berikut ini

1. Menghitung kuat desak beton rata-rata

Kuat desak beton rata-rata dihitung dari kuat desak beton rencana dan dihitung dengan persamaan 3.6. dengan nilai k untuk Indonesia menggunakan perkiraan 5 % defektif (kegagalan) sebesar 1.64, faktor pengali untuk standar deviasi yang sampelnya kurang dari 15 buah nilai deviasi standar 70 kg/cm² pada kondisi pekerjaan cukup dengan volume kecil sehingga kuat desak rata-rata beton adalah

$$\begin{aligned}
 f_{cr}' &= f_c' + k_s d \\
 &= 300 + 1.64 \times (1.16 \times 70) \\
 &= 433 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 43.3 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

2. Menentukan faktor air semen

- a. Berdasarkan nilai kuat desak rata-rata sebesar 43.3 Mpa maka diperoleh pada tabel 3.11. nilai fas sebesar 0,385
- b. Berdasarkan perencanaan beton untuk bangunan didalam ruangan dan kondisi keliling non korosif, maka diperoleh nilai fas maksimum (pada tabel 3.12) sebesar 0,60

Dari kedua asumsi perkiraan diambil nilai fas sebesar 0,385.

3. Menetapkan nilai slump

Didasarkan pada tabel 3.13 untuk beton yang digunakan sebagai pelat, balok, kolom, dan dinding, diperoleh nilai slump sebesar 75 mm–150 mm

4. Menetapkan kebutuhan air

Jumlah air yang diperlukan berdasarkan nilai slump (tabel 3.14) diperoleh air sebesar 177 liter dan udara terperangkap dalam beton sebesar 1 %.

5. Menghitung kebutuhan semen

Dari penentuan langkah kedua dan keempat maka kebutuhan semen dapat dihitung sebagai berikut

$$\text{fas} = \frac{w_{air}}{w_{semen}}$$

$$W \text{ semen} = \frac{177}{0,385}$$

$$= 459,74 \text{ kg}$$

6. Menentukan volume agregat kasar

Volume agregat kasar ditentukan berdasarkan ukuran agregat 30 mm dan MHB pasir 2,5 sesuai dengan tabel 3.15 diperoleh volume agregat kasar sebesar $0,75 \text{ m}^3 = 75 \%$.

$$\text{Berat agregat kasar} = 0,75 \times 1531,132075 = 1148,3491 \text{ kg/m}^3$$

7. Volume agregat halus

Volume semen	= $491,6667 / (3,15 \times 1000)$	= 0,1561
Volume air	= $177 / 1000$	= 0,177
Volume agregat kasar	= $1148,3491 / (2,38 \times 1000)$	= 0,4824
Volume udara terperangkap	= 1 %	= 0,01
		$\Sigma = 0,8255$

$$\text{volume agregat halus} = 1,0 - 0,8255 = 0,1745$$

$$\text{Berat agregat halus} = 0,1745 \times 2,5158 \times 1000 = 464,6683 \text{ kg}$$

8. Kebutuhan material dalam 1 m^3 adukan beton normal

Dari penentuan parameter diatas maka diperoleh untuk 1 m^3 beton dengan perbandingan $P_c : P_s : K_r : A = 1 : 1,2 : 2,5 : 0,46$ diperlukan material :

- a. Berat semen = 459,7400 kg
- b. Berat pasir = 464,6683 kg
- c. Berat kerikil = 1148,349 kg

d. Berat air = 177 liter

9. Kebutuhan material 1 m³ adukan beton dengan pozzolan *rice husk ash* 5%, 10%, 15%, atau 20% untuk pengurangan tiap-tiap penambahan semen dalam setiap adukan.

4.5. Pembuatan Campuran Beton

Pembuatan campuran beton didalam penelitian ini berpedoman pada SKSNI T-28-1991-03 tentang tata cara pengadukan dan pengecoran beton. Cara pembuatan campuran beton dimulai dari persiapan bahan dan alat sesuai dengan asumsi, persyaratan dan kebutuhan pada saat perhitungan campuran adukan (*mix design*).

4.6. Pengujian Slump

pengujian slump dilakukan dengan menggunakan kerucut standar Abrahams.

Pengujian slump dilakukan untuk mengetahui tingkat kelecakan atau kemudahan pengerjaan (*workability*) dari setiap campuran yang telah dibuat. Pada penelitian ini dipakai nilai slump sebesar 75 mm – 150 mm.

4.7. Pembuatan Benda Uji

Pembutan benda uji dilaksanakan setelah pengujian slump mencapai nilai yang dikehendaki. Dalam penelitian ini digunakan cetakan silinder standar dengan ukuran berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Masing-masing variasi menggunakan 6 cetakan silinder. Untuk memudahkan identifikasi masing-masing sampel diberi kode sebagai berikut

1. Untuk sampel beton standar normal tanpa bahan tambah diberi kode A1, A2, A3, A4, A5, A6.
2. Untuk sampel beton dengan bahan tambah abu sekam padi sebesar 5 % diberi kode B1, B2, B3, B4, B5, B6.
3. Untuk sampel beton dengan bahan tambah abu sekam padi sebesar 10 % diberi kode C1, C2, C3, C4, C5, C6.
4. Untuk sampel beton dengan bahan tambah abu sekam padi sebesar 15 % diberi kode D1, D2, D3, D4, D5, D6.
5. Untuk sampel beton dengan bahan tambah abu sekam padi sebesar 20 % diberi kode E1, E2, E3, E4, E5, E6.

Selama pembuatan benda uji khususnya pada saat penuangan campuran beton diikuti oleh proses pemadatan manual dengan batang besi tulangan sehingga diharapkan dapat dicapai kepadatan yang diinginkan atau direncanakan.

Beton yang dirancang dengan komposisi bahan material yang telah ditentukan harus disertai dengan pelaksanaan yang baik agar menghasilkan beton yang sesuai dengan kekuatan yang direncanakan.

4.8. Perawatan Benda Uji

Beton memerlukan perawatan untuk menjamin terjadinya proses hidrasi semen berlangsung dengan sempurna dengan menjaga kelembaban permukaan beton.

Untuk mempertahankan beton supaya berada dalam keadaan basah selama periode beberapa hari, maka dilakukan perendaman sampel beton didalam bak perendaman dan direndam dengan air bersih selama berumur 28 hari.

4.9. Pengujian Benda Uji

Pada penelitian ini kami akan melakukan pengujian-pengujian sebagai berikut ini

- a. Pengujian desak beton dilakukan sesuai dengan standar pengujian ASTM yaitu dengan pembebanan vertikal dengan menggunakan mesin desak hidrolik dimana benda uji diletakkan pada tempat pengujian lalu dilakukan pembebanan secara bertahap secara perlahan sampai mencapai beban maksimum (benda uji mengalami kehancuran).
- b. Pengujian permeabilitas dilakukan untuk mengontrol angka pemasukan uap lembab yang mengandung kimia agresif dan gerakan perpindahan air selama panas ataupun beku dan juga permeabilitas dapat diukur dengan determinasi angka arus angin lembab atau air bertekanan secara bertahap melalui lempeng beton uji, sehingga beton tersebut mencapai keadaan permeabilitas atau impermeabel. Kemampuan suatu benda untuk mampu menahan atau mengurangi aliran air kedalam media tersebut, berhubungan dengan permeabilitas bahan/benda tersebut. Material hasil pencampuran diharapkan mempunyai permeabilitas yang rendah, sehingga dapat menahan sejumlah air meskipun kelarutan dari komponennya tidak mencapai nol. Apabila komponen beracun yang dapat terlarut menjadi sedikit, makin sedikit air yang masuk

kedalam hasil pencampuran, dengan demikian makin sedikit kemungkinan bahan beracun mencemari tanah atau lingkungan. Nilai permeabilitas pada beton parameter yang paling mempengaruhi tingkatnya adalah perbandingan antara air dengan semen (*W/C ratio*). Bila harga *W/C ratio* kecil akan menyebabkan porositas pasta kecil yang menjadikan beton lebih kedap. Semakin kecil permeabilitas beton, akan menghasilkan durabilitas yang lebih baik.

Perhitungan koefisien permeabilitas dilakukan dengan *Hukum Darcy*, Yaitu :

$$\frac{Idq}{Adt} = Kx(\Delta h/L)$$

Dimana :

K= koefisien permeabilitas, (m/det)

A= luas penampang spesimen beton yang diberikan tekanan, (m²)

Δh = head loss spesimen, yang diambil dari tekanan osmotis, (m)

dq/dt = kecepatan volume air yang mengalir kedalam spesimen beton persatuan waktu, (m³/det)

L= tebal benda uji (m).

Koefisien permeabilitas dari beberapa bahan disajikan dalam tabel 4.3

Tabel 4.3 Koefisien Permeabilitas Bahan 1 [18]

Bahan	Koefisien permeabilitas (m/s)
Krikil	$\geq 1 \times 10^{-2}$
Krikil berpasir	$10^{-2} - 10^{-4}$
Pasir	$10^{-4} - 5 \times 10^{-5}$
Pasir Halus	$5 \times 10^{-5} - 10^{-5}$
Lanau berpasir	$10^{-5} - 10^{-6}$
Lanau	$10^{-6} - 10^{-7}$
Tanah liat	$\leq 10^{-8}$
Beton	10^{-8}

k

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil penelitian

Dari hasil pengujian desak beton terhadap benda uji yang telah berumur 28 hari, maka diperoleh hasil kuat desak yang ditunjukkan pada tabel 5.1. dan selanjutnya dianalisis terhadap kuat desak karakteristiknya dengan rumus sebagai berikut (SNI T-15-91-03 pasal 3.4.3)

$$f_c' = f_{cr}' - k \cdot s_d$$

Dimana : f_c' = kuat desak karakteristik beton (Mpa)

f_{cr}' = kuat desak rata-rata benda uji (Mpa)

k = tetapan statistik. Indonesia memakai 5 % kegagalan (defektives) maka faktor $k=1.64$

s = standar deviasi (Mpa) yang dihitung dengan rumus :

$$s = \sqrt{\frac{\sum (fb' - f_{cr}')^2}{n - 1}}$$

Dimana : fb' = kekuatan beton yang diperoleh dari masing-masing benda uji

n = banyaknya sampel benda uji

$$f_{cr}' = \frac{\sum_{i=1}^{n=1} fb_{(i)}}{n}$$

Perhitungan analisis hasil pengujian kuat desak beton akan ditunjukkan pada tabel 5.1 sampai tabel 5.5 sebagai berikut ini

Tabel 5.1 Hasil kuat desak beton dengan jenis beton normal

Kode	Berat (Kg)	Luas (cm ²)	Beban Maks (KN)	fb' (Mpa)	(fb' - fcr')	(fb' - fcr') ² (Mpa)
A1	12.506	162.860	500	30.702	-3.392	11.506
A2	12.431	162.860	635	38.991	4.898	23.990
A3	12.495	167.415	575	34.346	0,258	0.067
A4	12.503	163.993	570	34.758	0.668	0,446
A5	12.757	167.415	530	31.658	-2,432	5.915
				170.455		41.924

$$f_{cr}' = \frac{\sum f'b}{N} = \frac{170.455}{5} = 34,092 \text{ Mpa}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (fb' - f_{cr}')^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{41.924}{5-1}} = 4,2374 \text{ Mpa}$$

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

$$= 34,092 - 1,64 \times (1.16 \times 4,2374) = 26.03077 \text{ Mpa}$$

Tabel 5.2 Hasil kuat desak beton dengan jenis beton dengan variasi penambahan Rice Husk Ash 5%

Kode	Berat (Kg)	Luas (cm ²)	Beban Maks (KN)	fb' (Mpa)	(fb'-fcr') (Mpa)	(fb'-fcr') ² (Mpa)
B1	12.372	167.415	510	30.46	0.518	0.268
B2	12.340	163.993	505	30.79	0.908	0.824
B3	12.200	161.731	440	27.21	-2.672	7.140
B4	12.330	165.130	540	32.70	2.818	7.941
B5	12.317	162.860	460	28.25	-1.632	2.663
				149.41		18.830

$$f_{cr}' = \frac{\sum f'b}{N} = \frac{149.41}{5} = 29.882 \text{ Mpa}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (fb' - f_{cr}')^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{18.83}{5-1}} = 2.1697 \text{ Mpa}$$

$$F_c' = f_{cr}' - k \cdot s.d$$

$$= 29.882 - 1.64 \times (1.16 \times 2.1697) = 25.754363 \text{ Mpa}$$

Tabel 5.3 Hasil kuat desak beton dengan jenis beton dengan variasi penambahan Rice Husk Ash 10%

Kode	Berat (Kg)	Luas (cm ²)	Beban Maks (KN)	fb' (Mpa)	(fb'-fcr') (Mpa)	(fb'-fcr') ² (Mpa)
C1	12.115	165.130	650	39.363	-0.469	0.220
C2	12.265	166.271	685	41.198	1.066	1.136
C3	12.210	163.993	675	41.161	1.029	1.059
C4	12.260	162.860	650	39.912	-0.220	0.0484
C5	12.250	163.993	640	39.026	-1.106	1.223
				200.660		3.6864

$$f_{cr}' = \frac{\sum f'b}{N} = \frac{200.660}{5} = 40.132 \text{ Mpa}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (fb' - f_{cr}')^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{3.6864}{5-1}} = 0.7600 \text{ Mpa}$$

$$F_c' = f_{cr}' - k \cdot s.d$$

$$= 40.132 - 1.64 \times (1.16 \times 0.7600) = 38.686176 \text{ Mpa}$$

Tabel 5.4 Hasil kuat desak beton dengan jenis beton dengan variasi penambahan Rice Husk Ash 15%

Kode	Berat (Kg)	Luas (cm ²)	Beban Maks (KN)	fb' (Mpa)	(fb'-fcr') (Mpa)	(fb'-fcr') ² (Mpa)
D1	12.155	165.130	505	30.58	-0.678	0.4597
D2	12.170	162.860	535	32.85	1.592	2.5345
D3	12.157	165.130	550	33.31	2.052	4.2107
D4	11.910	165.130	495	29.98	-1.278	1.6330
D5	12.015	163.993	485	29.57	-1.688	2.8493
				156.290		11.6872

$$f_{cr}' = \frac{\sum f'b}{N} = \frac{156.290}{5} = 31.2580 \text{ Mpa}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (fb' - f_{cr}')^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{11.6872}{5-1}} = 1.7090 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = f_{cr}' - k \cdot s_d$$

$$= 31.258 - 1.64 \times (1,16 \times 1.7090) = 28.006798 \text{ Mpa}$$

Tabel 5.5 Hasil kuat desak beton dengan jenis beton dengan variasi penambahan Rice Husk Ash 20%

Kode	Berat (Kg)	Luas (cm ²)	Beban Maks (KN)	fb' (Mpa)	(fb'-fcr') (Mpa)	(fb'-fcr') ² (Mpa)
E1	11.900	165.130	490	29.67	1.698	2.8832
E2	11.975	163.993	470	28.66	0.688	0.4733
E3	12.255	159.485	485	30.41	3.438	11.8198
E4	11.900	166.271	440	26.46	-1.512	2.2861
E5	12.120	166.271	410	24.66	-3.312	10.9693
				139.860		28.4317

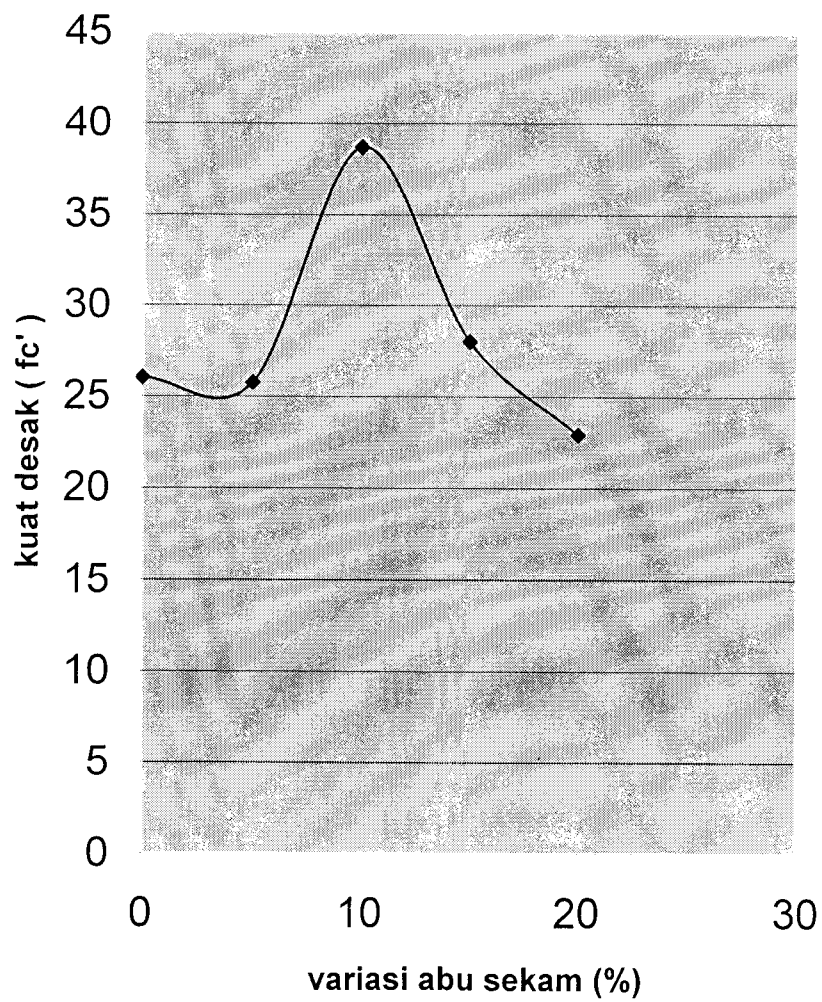
$$f_{cr}' = \frac{\sum f'b}{N} = \frac{139.860}{5} = 27.9720 \text{ Mpa}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (fb' - f_{cr}')^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{28.4317}{5-1}} = 2.6661 \text{ Mpa}$$

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

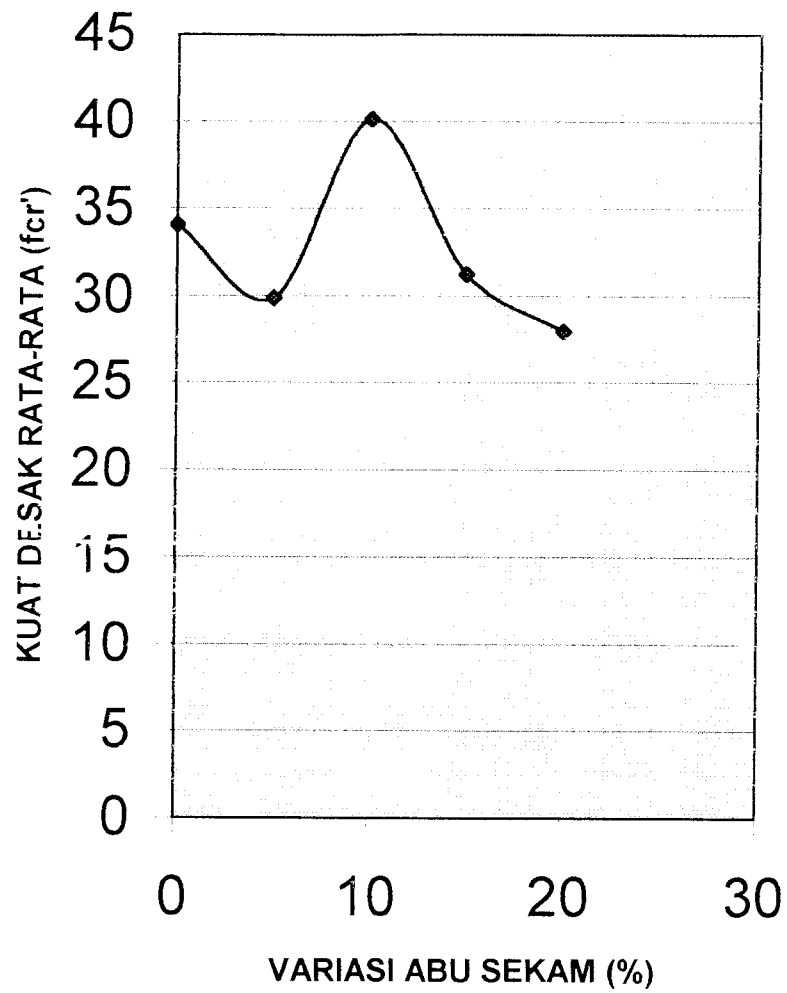
$$= 27.972 - 1.64 \times (1,16 \times 2.6661) = 22.9000114 \text{ Mpa}$$

VARIASI	KUAT DESAK (fc')
0	26.03077
5	25.754363
10	38.686176
15	28.006798
20	22.9000114



Gambar 5.1 Grafik antara variasi dengan kuat desak (fc')

VARIASI	KUAT DESAK RATA-RATA (fcr)
0	34.092
5	29.882
10	40.132
15	31.258
20	27.972



Gambar 5.2 Grafik antara variasi dengan kuat desak rata-rata (fcr)

5.2. Modulus Elastis Dan Modulus Kenyal Beton

Modulus elastis didefinisikan sebagai perubahan tegangan (*stress*) akibat adanya regangan dan elastis, yang merupakan ukuran untuk mengetahui kekuatan atau ketahanan bahan terhadap adanya perubahan bentuk atau deformasi (I Gede Oka D), modulus elastis juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan dengan regangan (Daniel L.S, Struktur, 1991).

Sedangkan modulus kenyal didefinisikan sebagai jumlah energi elastis yang dapat diserap oleh satu satuan volume bahan yang dibebani gaya, besarnya modulus kenyal sama dengan luas bidang dibawah diagram tegangan (σ) dan regangan (ϵ) sampai batas sebanding (Charles G.S dan John E.J , 1986).

Untuk menghitung besarnya modulus elastis dan modulus kenyal, mempergunakan formulasi sebagai berikut :

$$E_c = \frac{\sigma_p}{\epsilon_p} \dots\dots\dots (kg/cm^2)$$

Dimana : E_c = Modulus elastis

σ_p = Tegangan pada saat batas sebanding

ϵ_p = Regangan yang dihasilkan oleh tegangan σ_p

$$E_k = 0.5 \times \sigma_p \times \epsilon_p \dots\dots\dots (kg/cm^2)$$

Dimana : E_k = Modulus kenyal

σ_p = Tegangan pada saat batas sebanding

ϵ_p = Regangan yang dihasilkan oleh tegangan σ_p

5.2.1. Hasil Hitungan Tegangan (σ) Dan Regangan (ε) untuk Beton

$$\sigma = \frac{\text{beban}}{\text{luas}} \dots\dots\dots (\text{kg} / \text{cm}^2)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L'}{L_0} \dots\dots\dots (\text{mm})$$

$$\Delta L' = \frac{\Delta L}{2} \dots\dots\dots (\text{mm})$$

$$E_c = \frac{\sigma_p}{\varepsilon_p} \dots\dots\dots (\text{kg} / \text{cm}^2)$$

$$E_k = 0.5 \times \sigma_p \times \varepsilon_p \dots\dots\dots (\text{kg} / \text{cm}^2)$$

Tabel 5.6. Hasil Hitungan Tegangan (σ) Dan Regangan (ε) untuk Beton

Normal

Kode	Beban (kg)	L ₀ (cm)	Luas (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)	$\Delta L'$ (10 ⁻³ mm)	Regangan (10 ⁻³)
A1	2038.74	29.5	162.860	12.5184	10.0	0.0339
A2	2038.74	29.7	162.860	12.5184	8.0	0.0269
A3	3058.10	29.4	167.415	18.2666	12.5	0.0425
A4	2038.74	29.5	163.993	12.4319	7.5	0.0254
A5	2038.74	29.6	167.415	12.1778	7.5	0.0253

Tabel 5.7. Hasil Hitungan Modulus Elastis Dan Modulus Kenyal untuk Beton

Normal

Kode	Modulus Elastis E_c (kg / cm ²)	Modulus Kenyal E_k (kg / cm ²)
A1	369274.336	2.1219×10^{-4}
A2	465368.030	1.6837×10^{-4}
A3	429802.353	3.8816×10^{-4}
A4	489444.882	1.5789×10^{-4}
A5	481335.968	1.5405×10^{-4}
Σ	2235225.569	10.8066×10^{-4}

$$\begin{aligned}
 E_c \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_c}{5} \\
 &= \frac{2235225.569}{5} \\
 &= 447045.1138 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_k \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_k}{5} \\
 &= \frac{10.8066 \times 10^{-4}}{5} \\
 &= 2,16132 \times 10^{-4} \text{ kg / cm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 5.8. Hasil Hitungan Tegangan (σ) Dan Regangan (ϵ) untuk Beton Dengan Variasi Rice Husk Ash 5%

Kode	Beban (kg)	Lo (cm)	Luas (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)	$\Delta L'$ (10 ⁻³ mm)	Regangan (10 ⁻³)
B1	5096.84	29.5	167.415	30.4443	22.5	0.0763
B2	2038.74	29.6	163.993	12.4319	7.5	0.0253
B3	14271.15	29.4	161.731	88.2400	72.5	0.2466
B4	2038.74	29.65	165.130	12.3463	7.5	0.0255
B5	2038.74	29.65	162.860	12.5184	8.0	0.0270

Tabel 5.9. Hasil Hitungan Modulus Elastis Dan Modulus Kenyal Untuk Beton Dengan Variasi Rice Husk Ash 5%

Kode	Modulus Elastis E_c (kg / cm ²)	Modulus Kenyal E_k (kg / cm ²)
B1	399007.864	1.1615x10 ⁻³
B2	491379.447	1.5726x10 ⁻⁴
B3	357826.440	1.0880x10 ⁻⁴
B4	484168.628	1.5742x10 ⁻⁴
B5	463644.444	1.6900x10 ⁻⁴
Σ	1870026.823	1.2525x10 ⁻³

$$\begin{aligned}
 E_c \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_c}{5} \\
 &= \frac{1870026.823}{5} \\
 &= 374005.3646 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_k \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_k}{5} \\
 &= \frac{1.2525 \times 10^{-3}}{5} \\
 &= 2.5050 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 5.10. Hasil Hitungan Tegangan (σ) Dan Regangan (ε) untuk Beton Dengan Variasi Rice Husk Ash 10%

Kode	Beban (kg)	Lo (cm)	Luas (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)	$\Delta L'$ (10 ⁻³ mm)	Regangan (10 ⁻³)
C1	2038.74	29.35	165.130	12.3336	10.0	0.0341
C2	2038.74	29.7	166.271	12.2615	10.0	0.0337
C3	2038.74	29.6	163.993	12.4319	7.5	0.0253
C4	2038.74	29.8	162.860	12.5184	7.5	0.0252
C5	3058.10	29.35	163.993	18.6478	12.5	0.0426

Tabel 5.11. Hasil Hitungan Modulus Elastis Dan Modulus Kenyal Untuk Beton Dengan Variasi Rice Husk Ash 10%

Kode	Modulus Elastis E_c (kg / cm ²)	Modulus Kenyal E_k (kg / cm ²)
C1	361689.150	2.1029×10^{-4}
C2	363842.730	2.0661×10^{-4}
C3	491379.447	1.5726×10^{-4}
C4	496761.905	1.5773×10^{-4}
C5	437741.784	3.972×10^{-4}
Σ	2151415.016	11.2909×10^{-4}

$$\begin{aligned}
 E_c \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_c}{5} \\
 &= \frac{2151415.016}{5} \\
 &= 430283.0032 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_k \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_k}{5} \\
 &= \frac{11.2909 \times 10^{-4}}{5} \\
 &= 2.2582 \times 10^{-4} \text{ kg / cm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 5.12. Hasil Hitungan Tegangan (σ) Dan Regangan (ε) untuk Beton Dengan Variasi Rice Husk Ash 15%

Kode	Beban (kg)	Lo (cm)	Luas (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)	$\Delta L'$ (10 ⁻³ mm)	Regangan (10 ⁻³)
D1	2038.74	29.5	165.130	12.3463	10.5	0.0356
D2	2038.74	29.65	162.860	12.5784	10.0	0.0337
D3	2038.74	29.6	165.130	12.3463	8.0	0.0270
D4	8154.94	29.65	165.130	49.3850	42.5	0.1433
D5	2038.74	29.7	163.993	12.4319	9.5	0.0320

Tabel 5.13. Hasil Hitungan Modulus Elastis Dan Modulus Kenyal Untuk Beton Dengan Variasi Rice Husk Ash 15%

Kode	Modulus Elastis Ec (kg / cm ²)	Modulus Kenyal Ek (kg / cm ²)
D1	346806.180	2.1976x10 ⁻⁴
D2	371465.875	2.1094x10 ⁻⁴
D3	457270.370	1.6668x10 ⁻⁴
D4	344626.657	3.5384x10 ⁻³
D5	388496.875	1.9891x10 ⁻⁴
Σ	2297162.832	4.33469x10 ⁻³

$$\begin{aligned}
 E_c \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_c}{5} \\
 &= \frac{2297162.832}{5} \\
 &= 459432.5664 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_k \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_k}{5} \\
 &= \frac{4.33469 \times 10^{-3}}{5} \\
 &= 8.6694 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 5.14. Hasil Hitungan Tegangan (σ) Dan Regangan (ϵ) untuk Beton Dengan Variasi Rice Husk Ash 20%

Kode	Beban (kg)	Lo (cm)	Luas (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)	$\Delta L'$ (10 ⁻³ mm)	Regangan (10 ⁻³)
E1	2038.74	29.2	165.130	12.3463	9.5	0.0325
E2	2038.74	29.6	163.993	12.4319	14.5	0.0490
E3	2038.74	30.0	159.485	12.7833	7.5	0.0250
E4	2038.74	29.5	166.271	12.2615	9.5	0.0322
E5	2038.74	29.9	166.271	12.2615	10.0	0.0334

**Tabel 5.15. Hasil Hitungan Modulus Elastis Dan Modulus Kenyal Untuk
Beton Dengan Variasi Rice Husk Ash 20%**

Kode	Modulus Elastis E_c (kg/cm^2)	Modulus Kenyal E_k (kg/cm^2)
E1	379886.154	2.0063×10^{-4}
E2	253712.245	3.0458×10^{-4}
E3	511332.000	1.5979×10^{-4}
E4	380791.926	1.9741×10^{-4}
E5	367110.778	2.0477×10^{-4}
Σ	1892833.103	1.06718×10^{-3}

$$\begin{aligned}
 E_c \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_c}{5} \\
 &= \frac{1892833.103}{5} \\
 &= 378566.6206 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_k \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_k}{5} \\
 &= \frac{1.0671 \times 10^{-3}}{5} \\
 &= 2.13436 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

5.3 Hasil Analisis Permeabilitas Beton

Perhitungan koefisien permeabilitas beton hasil campuran beton dihitung pada umur campuran maksimum yaitu 28 hari, perhitungan koefisien permeabilitas beton ditunjukkan pada tabel 5.16 dengan menggunakan *Hukum Darcy*, yaitu :

$$\frac{Idq}{Adt} = Kx\left(\frac{h}{L}\right)$$

Tabel 5.16 Hasil Perhitungan Koefisien Permeabilitas

Variasi %	Umur (hari)	Penetrasi (cm)	Koefisien Permeabilitas Rata-rata (cm/dt)
0	28	1.35	9.3×10^{-12}
5	28	15	6.0×10^{-12}
10	28	0.8	1.3×10^{-14}
15	28	4.5	1.3×10^{-11}
20	28	15	2.4×10^{-11}

Contoh hitungan untuk mencari koefisien permeabilitas (K) :

- Untuk variasi 0 %

$$V = K \cdot \frac{h}{L}$$

$$\frac{1}{A} \cdot \frac{dq}{dt} = K \cdot \frac{h}{L}$$

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,15^2 = 0,017671 \text{ m}^2$$

$$dq = 1 \text{ cc} = 1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$dt = 5 \text{ jam} = 18000 \text{ detik}$$

$$h = 50 \text{ m}$$

$$L = 0.15 \text{ m}$$

$$\frac{1}{0.017671} \cdot \frac{10^{-6}}{18000} = K \cdot \frac{50}{0.15}$$

$$3.1000 \times 10^{-9} = K \cdot \frac{50}{0.15}$$

$$K = 9.3000 \times 10^{-12} \text{ m/detik}$$

5.17 Tabel Hasil Perhitungan Koefisien Permeabilitas Beton

Variasi	Tekanan Air (bar)	dh (m ³)		$\frac{dq}{dt} \times \frac{1}{A}$ (m/detik)		K (m/detik)	
		1	2	1	2	1	2
0 %	5	1x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁶	3.1x10 ⁻⁹	3.1x10 ⁻⁹	9.3x10 ⁻¹²	9.3x10 ⁻¹²
5 %	5	6.9x10 ⁻⁵	5.8x10 ⁻⁵	2.2x10 ⁻⁷	1.8x10 ⁻⁷	6.6x10 ⁻¹²	5.4x10 ⁻¹²
10 %	5	1.2x10 ⁻⁶	1.6x10 ⁻⁶	3.7x10 ⁻⁹	5.0x10 ⁻⁹	1.1x10 ⁻¹⁴	1.5x10 ⁻¹⁴
15 %	5	1.3x10 ⁻⁶	1.5x10 ⁻⁶	4.0x10 ⁻⁹	4.7x10 ⁻⁹	1.2x10 ⁻¹¹	1.4x10 ⁻¹¹
20 %	5	2.5x10 ⁻⁵	2.7x10 ⁻⁵	7.9x10 ⁻⁸	8.5x10 ⁻⁸	2.4x10 ⁻¹⁰	2.5x10 ⁻¹⁰

5.4 Pembahasan

5.4.1. Tinjauan Umum

Secara umum, hasil pengujian sebagai mana dapat dilihat pada hasil yang telah disajikan diatas memperlihatkan pengaruh penggantian semen dengan abu sekam padi terhadap kenaikan kuat desak dan menjadikan beton menjadi impermeabel. Kekuatan beton dengan penggantian semen dengan abu sekam padi yang lebih tinggi dari pada beton normal, diakibatkan oleh terjadinya pengaruh abu sekam padi. Pembahasan terhadap hasil penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut :

5.4.2. Kuat Desak Beton

Pengujian kuat desak beton diberikan pada benda uji berumur 28 hari. Dari hasil pengujian kelima variasi (0 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 %) ternyata menghasilkan kuat desak rata-rata optimum adalah pengganti semen sebesar 10 % dengan abu sekam padi. Hal ini dapat dilihat pada tabel 5.18.

Tabel 5.18 Kuat desak rata-rata masing-masing variasi

Variasi	Kuat desak rata-rata (Mpa)
0 %	34,092
5 %	29,882
10 %	40,132
15 %	31,258
20 %	27,972

Disamping itu pada pengujian yang pernah dilakukan yang menggunakan abu sekam padi lolos saringan nomor 200 menghasilkan kuat desak yang lebih rendah dibandingkan dengan beton yang menggunakan abu sekam padi lolos saringan nomor 150 sebagai pengganti sebagian semen.

Pemakaian pozzolan *rice husk ash* akan mengurangi pemakaian semen seberat 45,9740 Kg untuk setiap 1 m³ adukan beton.

Selanjutnya untuk beton normal memiliki kuat desak karakteristik sebesar 26.8003 Mpa dimana kuat desak untuk beton dengan penambahan pozzolan *rice husk ash* 10% memiliki kuat desak karakteristik sebesar 39.603552 Mpa atau mengalami kenaikan sebesar 47.772794 %.

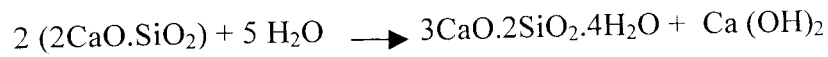
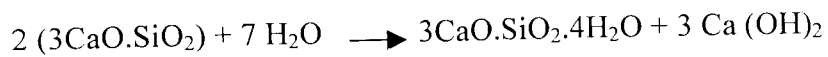
Terjadinya kenaikan kuat desak beton disebabkan karena abu sekam padi. Pengaruh abu sekam padi sebagai pengganti sebagian semen mengakibatkan terjadinya reaksi pengikatan kapur bebas yang dihasilkan dalam proses hidrasi semen oleh silika yang terkandung dalam abu sekam padi. Selain itu, butiran abu sekam padi yang jauh lebih kecil (75 mikron) membuat beton lebih penuh/padat karena pori yang kosong antara butiran agregat diisi oleh abu sekam padi. Mekanisme terjadinya pengaruh abu sekam padi secara jelas dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Mekanisme Reaksi Pozzolanik *Rice Husk Ash*

Proses berlangsungnya reaksi pozzolanik pengikatan kapur bebas dalam beton dengan abu sekam padi berlangsung sangat rumit.

Namun secara sederhana, reaksi tersebut dapat digambarkan sebagai berikut :

(Swamy, 1986)

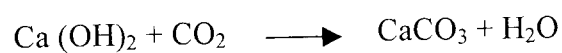


Kemudian sisa $\text{Ca} (\text{OH})_2$ yang merupakan kapur bebas, bereaksi dengan silika (SiO_2) yang terkandung dalam abu sekam padi membentuk Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) yang berbentuk gel dan mempunyai kemampuan seperti perekat.

2. Mekanisme abu sekam padi sebagai filler

Selain disebabkan oleh reaksi pozzolanik abu sekam padi, mekanisme kedua yang menyebabkan penambahan kekuatan desak beton adalah terisinya pori-pori, yang sebelumnya berisi air yang terperangkap, oleh gel yang dihasilkan dari reaksi kapur bebas – abu sekam padi. Pada beton tanpa abu sekam padi, daerah transisi (*transition zone*) berisi air yang terjebak oleh partikel-partikel semen dan selanjutnya menguap meninggalkan daerah yang porous. Keadaan porous ini menyebabkan kekuatan beton relatif rendah.

Mekanisme lain yang dapat menyebabkan semakin berkurangnya kuat tekan adalah proses reaksi dari kapur padam itu sendiri. Reaksi kimianya dapat diterangkan sebagai berikut : (Swamy, 1986)



Kapur padam yang terdapat dalam jumlah berlebihan ini akan mengikat CO_2 dari udara dan membentuk pasta CaCO_3 (batu kapur) yang pada akhirnya

mengeras. Pada tahap kadar kapur bebas masuk bereaksi dengan CO_2 dan membentuk senyawa CaCO_3 (batu kapur) memang akan mengeras. Akan tetapi karena proses pengikatan pada kapur membutuhkan waktu lama pengerasan akan terjadi pada permukaannya saja.

Adanya senyawa CaCO_3 (batu kapur) maka akan memperbesar jarak antar butiran agregat kuat desak tidak lagi di dukung oleh butir-butir agregat yang sudah menyatu dengan adanya pasta semen, tetapi oleh pasta CaCO_3 (batu kapur) yang mampu menahan kuat desak jelas berada di bawah kemampuan agregat.

Adapun modulus elastis (E_c) dan modulus kenyal (E_k) yang diperoleh dari hasil regangan pada pengujian kuat desak beton diperoleh data segai berikut :

Tabel 5.19. Hasil Modulus Elastis (E_c) Dan Modulus Kenyal (E_k)

Variasi (%)	Modulus Elastis ($E_c = \text{Kg/cm}^2$)	Modulus Kenyal ($E_k = \text{Kg/cm}^3$)
0	447045.1198	2.16132×10^{-4}
5	374005.3696	2.50500×10^{-4}
10	430283.0032	2.25820×10^{-4}
15	459432.5664	2.66940×10^{-4}
20	378566.6206	2.13436×10^{-4}

5.4.3. Permeabilitas Beton

Berdasarkan analisa pada tabel 5.17 nilai koefisien permeabilitas untuk beton normal yaitu $9.3 \times 10^{-12} \text{ m/detik}$ dengan penetrasi air rata-rata 1.35 cm dan nilai terbesar dicapai pada beton dengan penambahan limbah *rice husk ash* 10 % yaitu $1.3 \times 10^{-14} \text{ m/detik}$ dengan penetrasi air sebesar 0.8 cm. Dari nilai koefisien tersebut maka untuk beton dengan penambahan limbah *rice husk ash* 10 % merupakan beton yang impermeabel dan dapat digunakan sebagai bangunan dalam air. Penambahan abu sekam padi pada campuran beton akan menyebabkan perbaikan pori-pori karena terjadi perubahan bentuk pori-pori permeabel (tembus air) menjadi pori-pori permeabel kecil atau dengan kata lain dari beton yang permeabel menjadi beton yang impermeabel. Ini dikarenakan 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. Pada penambahan *rice husk ash* pada campuran beton akan menyebabkan perbaikan pori-pori karena terjadi perubahan bentuk pori-pori permeabel (tembus air) dari pori-pori besar menjadi pori-pori kecil. (Swamy, 1986)

Dari hasil penelitian penambahan abu sekam padi pada kuat desak dan permeabilitas beton ternyata menghasilkan suatu penelitian yang sesuai dengan tujuan dari penelitian ini, yaitu dapat mengetahui sejauh mana pengaruh penambahan atau penggunaan limbah industri abu sekam padi sebagai bahan

substitusi terhadap kuat desak dan permeabilitas beton sesuai hasil-hasil yang ada diatas yang sudah diterangkan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut dibawah ini

1. Hasil penggunaan pozzolan *rice husk ash* sebanyak 10 % dapat mengurangi semen seberat 45.9740 kg untuk setiap 1 m³ adukan beton.
2. Kuat desak beton dengan pozzolan *rice husk ash* sebanyak 10 % dengan 5 buah benda uji didapat sebesar 38.686176 Mpa atau mengalami kenaikan kuat desak sebesar 48.617102 % dibandingkan dengan kuat desak beton normal sebesar 26.03077 Mpa.
3. Dari penghitungan permeabilitas beton, penggunaan pozzolan *rice husk ash* sebanyak 10 % dengan 2 buah benda uji didapat koefisien permeabilitas sebesar $1.3 \times 10^{-14} \text{ m/detik}$ dengan penetrasi air 0.8 cm dibandingkan dengan beton normal sebesar $9.3 \times 10^{-12} \text{ m/detik}$ dengan penetrasi air 1.35 cm maka untuk beton dengan penambahan *rice husk ash* sebanyak 10 % merupakan beton yang impermeabel dan dapat digunakan sebagai bangunan dalam air, sehingga *rice husk ash* dapat digunakan sebagai bahan tambah beton pengganti sebagian semen.

4. Dari hasil pengujian-pengujian (kuat desak dan permeabilitas) yang dilakukan dengan penambahan abu sekam padi (*rice husk ash*) dari beberapa variasi 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 % yang paling baik pada penambahan variasi 10 % sebagai pengganti sebagian semen.

6.2 Saran

Dari beberapa analisis, pembahasan dan kesimpulan sebelumnya, penulis mencoba untuk memberikan beberapa saran sebagai berikut ini :

1. Kualitas bahan abu sekam padi perlu dikontrol secara lebih teliti berhubung abu sekam padi yang dihasilkan akan selalu bervariasi tergantung dari berbagai hal diantaranya mutu sekam padi, efisiensi pembakaran.
2. Pemakaian jumlah air dalam pelaksanaan campuran adukan beton dengan bahan tambah pozzolan khususnya dalam pencapaian nilai slump harap diperhatikan, karena bahan pozzolan memiliki daya serap yang lebih besar dibandingkan dengan semen.
3. Perlu adanya evaluasi dan penelitian lebih lanjut tentang bahan pozzolan *rice husk ash* dengan benda uji yang memadai dan sesuai dengan standar yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus Setyo Muntohar, 1999, PENGARUH KAPUR DAN ABU SEKAM PADI PADA PERILAKU TANAH LEMPUNG, Seminar Regional Antar PTS Kopertis Wilayah V,
- Ahmad Antono, Prof. Ir, 1988, BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK SIPIL I. Bahan Perkuliahan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Charles G.S dan John E.J. 1986. STRUKTUR DESAIN BAJA I, Erlangga. Jakarta
- Daniel L.S ,1991, STRUKTUR, Erlangga, Jakarta,
- J. Francis Young, CONCRETE, University of Illinois at Urbana – Champaign,
- Kardiyono Tjokrodinuljo, Ir, ME, 1992 TEKNOLOGI BETON, Buku Ajar Pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta,
- Lydon, FD, 1979, CONCRETE MIX DESIGN, Applied Science Publisher Ltd, London,
- Murdock, L.J dan Brook, K.M, 1991, BAHAN DAN PRAKTEK BETON, Erlangga, Jakarta,
- Swamy, R, N, 1986, CONCRETE TECHNOLOGY AND DESIGN CEMENT REPLACEMENT MATERIALS, Volume 3, Reader in Civil and Structure Engineering, University of Sheffield,
- , SK SNI-14-1989-F,1989, METODE PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta,
- , SK SNI-28-1989-03, 1991, TATA CARA PENGADUKAN DAN PENGECORAN BETON, Yayasan LPMB Departemen Pekerjaan Umum, Bandung,
- , 1977, PERATURAN BETON BERTULANG INDONESIA N.I.-2 1971, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan DPU, Bandung.

LAMPIRAN

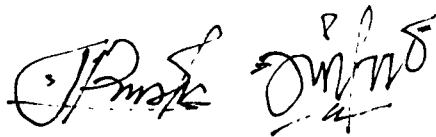
Hasil Penelitian Laboratorium
Pengujian Permeabilitas Beton Dengan Variasi
Penambahan Abu Sekam dari 0% sampai 20%

No	Jenis Benda Uji	Waktu Pengujia (Jam)	Tekanan Air (Bar)	Penurunan Air (cc)	Penetrasi (cm)	keterangan
1	A1 0 %	5	5	1	1,4	
2	B1 5 %	5	5	69	15,0	
3	C1 10 %	5	5	-	0,7	
4	D1 15 %	5	5	13	3,8	
5	E1 20 %	5	5	25	15,0	

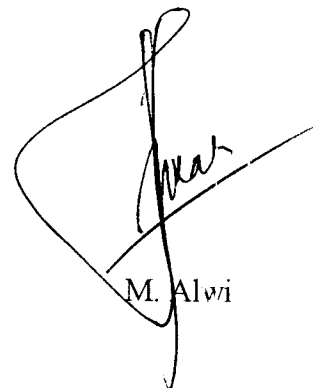
No	Jenis Benda Uji	Waktu Pengujia (Jam)	Tekanan Air (Bar)	Penurunan Air (cc)	Penetrasi (cm)	keterangan
1	A2 0 %	5	5	1	1,3	
2	B2 5 %	5	5	58	15,0	
3	C2 10 %	5	5	-	0.9	
4	D2 15 %	5	5	15	5,2	
5	E2 20 %	5	5	-	2,4	

Mahasiswa

Mengetahui
Teknisi Laboratorium



Arif Faidlur R/Heru Dwi Hantara



M. Alwi



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jln. Kaliurang Km. 14,4 telp. (0274) 895707, 895042 Sleman Yogyakarta

**DATA PEMERIKSAAN
BERAT JENIS AGREGAT KASAR**

Jenis Benda Uji :
Nama Benda uji :
Asal :
Keperluan :

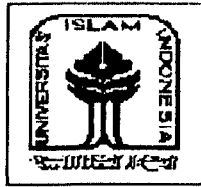
Diperiksa oleh :
1) HEKTI DWI H. 95-024
2) ARIF FAIDURR. 95-040
Tanggal : 16 OKTOBER 1999

ALAT - ALAT

- 1. Gelas ukur kapasitas 1000 cc
- 2. Timbangan ketelitian 0,01 gram
- 3. Piring, sekop kecil

	BENDA UJI I	BENDA UJI II
Berat Agregat (W)	40.0... Gram	40.0... Gram
Gelas ukur + Air (V1)	500... Cc	500... Cc
Gelas ukur + Air + Agregat (V2)	668... Cc	668... Cc
BERAT JENIS (BJ) = $\frac{W}{V2 - v1}$	2,381 gram / cc	2,381
BERAT JENIS (BJ) RATA-RATA	2,381 gram / cc	

Yogyakarta, _____



**DATA PEMERIKSAAN
GRADASI AGREGAT KASAR HALUS**

Jenis Benda Uji : _____
 Nama Benda uji : _____
 Asal : _____
 Keperluan : _____

Diperiksa oleh :
 1) HERY DXYL H 95-024
 2) APJE PANDUR P 95-040

Tanggal : 16 OKTOBER 1999

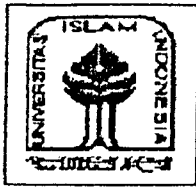
ALAT - ALAT :

1. Timbangan kapaitas ~~20 kg~~ 1500 gram . (15kg)
2. Mesin penggetar / mesin ayak
3. Saringan 1 (satu) set (40, 20, 10, 4.80, 2.40, 1.20, 0.60, 0.30, 0.15, pan) mm
4. Sikat baja (Kasar / halus)
5. Kuas , Lap kaos
6. Piring, serok . dll

LUBANG AYAKAN (mm)	BERAT TERTINGGAL (gram)		BERAT TERTINGGAL (%)		BERAT TERTINGGAL (%) KUMULATIF	
	I	II	I	II	I	II
PERCOBAAN KE :						
40	.....	.....	.....	.....	.....	.....
20	.....	.....	.....	.....	.....	.....
10	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4.80	.....	.....	0,01328	0,01328	0,0267	0,01338
2.40	.....	.....	.....	7,50073	7,3003	7,4274
1.20	.....	.....	.....	8,5277	20,5584	21,09251
0.60	.....	386,2	.....	20,8443	46,5202	46,89193
0.30	.....	.....	.....	20,67327	75,334	75,969
0.15	292,3	286,7	10,115	10,185	94,8905	95,14827
SISA	.....	.....	.....	4,4112	—	—
Jumlah	1496,2	1496,2	.....	100	244,630	246,1025
Jumlah rata-rata	1496,2		100		245,4063	

Modulus Halus Butir (MHB) _____ = $\frac{245,4063}{100} = 2,454063 \approx 2,5$

Yogyakarta, _____



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jln. Kaliurang Km. 14,4 telp. (0274) 895707, 895042 Sleman Yogyakarta

DATA PEMERIKSAAN
KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR

Jenis Benda Uji : _____
 Nama Benda uji : _____
 Asal : _____
 Keperluan : _____

Diperiksa oleh :
 1) HEZU DWI H 95-024
 2) APRI PANDUR P 95-040
 Tanggal : 15 OKTOBER 1990

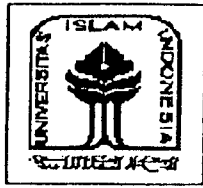
ALAT – ALAT

1. Timbangan Kapasitas 2610 gram
2. Oven
3. Gelas ukur Volume 100 cc
4. Stop watch , Desikator
5. Piring, gayuh
6. Sendok, lap, torong, penggaris
7. Dan lain-lain

	BENDA UJI I	BENDA UJI II
Berat piring kosong (W1)	148.8 gram	62.6 gram
Berat piring + pasir kering oven (W2)	248.8 gram	162.6 gram
Berat pasir kering oven (W _{ko1}) (W2 - W1)	100.0 gram.	100.0 gram.
Pasir kering oven setelah dicuci (W _{ko2})	98.3 gram	98.6 gram
Kandungan lumpur $\frac{W_{ko1} - W_{ko2}}{W_{ko2}} \times 100 \%$	1.7299 %	1.1987 %
Kandungan Lumpur Rata - rata %	

Yogyakarta, _____

158/16



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jln. Kaliurang Km. 14,4 telp. (0274) 895707, 895042 Sleman Yogyakarta

DATA PEMERIKSAAN
BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Jenis Benda Uji : _____
 Nama Benda uji : _____
 Asal : _____
 Keperluan : _____

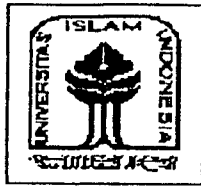
Diperiksa oleh :
 1) HERU DNI H 95-024
 2) ARIF PAIDUR R 95-040
 Tanggal : 16 OKTOBER 1990

ALAT – ALAT

1. Gelas ukur kapasitas 1000 cc
2. Timbangan ketelitian 0,01 gram
3. Piring, sekop kecil

	BENDA UJI I	BENDA UJI II
Berat Agregat (W)	<u>302</u> ... Gram	<u>302</u> ... Gram
Gelas ukur + Air (V1)	<u>520</u> ... Cc	<u>552</u> ... Cc
Gelas ukur + Air + Agregat (V2)	<u>660</u> ... Cc	<u>658</u> ... Cc
BERAT JENIS (BJ) = $\frac{W}{V2 - v1}$	<u>2,8</u>	<u>2,516</u>
BERAT JENIS (BJ) RATA-RATA	<u>2,9158</u> 95/100	

Yogyakarta, _____



12530
12370

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jln. Kaliurang Km. 14,4 telp. (0274) 895707, 895042 Sleman Yogyakarta

DATA PEMERIKSAAN
BERAT VOLUME AGREGAT KASAR

Jenis Benda Uji : Cement
Nama Benda uji : _____
Asal : _____
Keperluan : _____

Diperiksa oleh :
1) HERU DWI H 05-024
2) ARIF PAIDUAR 05-040

Tanggal : 16 OKTOBER 1990

ALAT - ALAT

1. Timbangan Kapasitas minimal 20 Kg
2. Cetakan silinder ($\varnothing 15 \times t 30$) cm
3. Tongkat penumbuk $\varnothing 16$ mm panjang 60 cm
4. Serok /cetok
5. Dan lain-lain

	BENDA UJI I	BENDA UJI II
Berat cetakan silinder (W1)	5,362 Kg	4,317 Kg
Berat cetakan silinder + Agregat (W2)	13,539 Kg	12,370 Kg
Volume silinder (V) $\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot t$	0,0052 M ³	0,0053 M ³
Berat Volume Agregat = $\frac{W2 - W1}{V}$ (kg/m ³)	1542,83019	1519,43396
Berat Volume Agregat Rata - rata	1531,132075 kg/m ³	

Yogyakarta, _____

V. PENGAMATAN DESAK SILINDER BETON

SILINDER A₁

SILINDER A₂

Diameter	14,4	cm	14,4	cm
Tinggi	29,5	cm	29,7	cm
Diuji Tgl	23/10-1999		23/10-1999	
Umur	2,8	hari	2,8	hari

Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)		Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)	
	Silinder A ₁	Silinder A ₂		Silinder A ₁	Silinder A ₂
10	15	15	410	555	356
20	20	16	420	585	378
30	27	27	430	635	385
40	35	33	440	690	390
50	45	41	450	730	395
60	52	49	460	755	405
70	61	56	470	815	435
80	70	62	480	875	440
90	76	70	490	965	450
100	85	76	500	970	465
110	94	85	510		475
120	102	93	520		485
130	115	101	530		495
140	120	105	540		515
150	130	115	550		520
160	135	124	560		535
170	145	134	570		550
180	155	137	580		570
190	165	147	590		585
A ₁ → 200	175	155	600		615
210	185	156	610		625
220	200	175	620		645
230	215	185	630		665
240	225	195	640		615
A ₂ → 250	235	203	650		
260	250	215	660		
270	262	225	670		
280	275	231	680		
290	290	241	690		
300	327	250	700		
310	335	260	710		
320	355	270	720		
330	375	274	730		
340	400	275	740		
350	415	290	750		
360	435	315	760		
370	465	320	770		
380	495	333	780		
390	515	348	790		
400	535	350	800		

V. PENGAMATAN DESAK SILINDER BETON

	155,75"		156,00"	
	SILINDER A ₃		SILINDER A ₄	
Diameter	14,6	cm	14,45	cm
Tinggi	29,4	cm	29,5	cm
Diuji Tgl	23/10-1999		23/10-1999	
Umur	2,8	hari	2,8	hari

Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)		Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)	
	Silinder A ₃	Silinder A ₄		Silinder A ₃	Silinder A ₄
10	15	10	410	485	530
20	20	15	420	495	541
30	25	25	430	510	555
40	35	35	440	515	602
50	45	45	450	545	695
60	55	55	460	555	705
70	64	65	470	565	735
80	73	72	480	585	745
90	79	80	490	605	785
100	82	89	500	615	835
110	95	95	510	635	850
120	105	105	520	655	875
130	115	115	530	671	915
140	125	121	540	695	945
150	132	131	550	715	995
160	141	141	560	750	1055
170	150	149	570	780	1095
180	159	159	580	830	
190	170	169	590		
200	179	180	600		
210	185	191	610		
220	196	205	620		
230	215	210	630		
240	225	215	640		
250	235	225	650		
260	241	241	660		
270	315	251	670		
280	333	261	680		
290	360	307	690		
300	371	382	700		
310	382	392	710		
320	395	405	720		
330	405	415	730		
340	415	425	740		
350	420	435	750		
360	425	455	760		
370	440	465	770		
380	455	485	780		
390	465	505	790		
400	475	513	800		

AA →
A₃ →

V. PENGAMATAN DESAK SILINDER BETON

"S441"

SILINDER A5

SILINDER

Diameter 14,6 cm cm
 Tinggi 29,6 cm cm
 Diuji Tgl 23/10-1999
 Umur 28 hari hari

Beban KN	Regangan (1.10^{-3} mm)		Beban KN	Regangan (1.10^{-3} mm)	
	Silinder A5	Silinder		Silinder	Silinder I
10	05		410	405	
20	15		420	415	
30	23		430	435	
40	33		440	455	
50	40		450	465	
60	46		460	485	
70	57		470	515	
80	52		480	530	
90	75		490	550	
100	85		500	575	
110	90		510	605	
120	95		520	650	
130	105		530	610	
140	115		540		
150	120		550		
160	125		560		
170	135		570		
180	145		580		
190	152		590		
200	159		600		
210	170		610		
220	183		620		
230	195		630		
240	199		640		
250	208		650		
260	215		660		
270	231		670		
280	240		680		
290	250		690		
300	260		700		
310	270		710		
320	280		720		
330	290		730		
340	292		740		
350	310		750		
360	325		760		
370	335		770		
380	355		780		
390	375		790		
400	390		800		

A5

V. PENGAMATAN DESAK SILINDER BETON

SILINDER B ₁		SILINDER B ₂	
Diameter	14,6 cm	14,45 cm	cm
Tinggi	29,5 cm	29,6 cm	cm
Diuji Tgl	23/10-1900	23/10-1900	
Umur	28 hari	28 hari	

Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)		Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)	
	Silinder B ₁	Silinder B ₂		Silinder B ₁	Silinder B ₂
10	05	09	410	4 65	5 15
20	15	15	420	4 85	5 35
30	25	25	430	5 03	5 75
40	35	35	440	5 19	5 96
50	45	41	450	5 45	6 25
60	53	51	460	5 65	6 56
70	60	60	470	5 85	6 95
80	65	69	480	6 15	7 35
90	76	75	490	6 65	7 75
100	85	91	500	6 95	8 25
110	94	94	510	7 4	9 55
120	102	109	520		
130	115	116	530		
140	125	129	540		
150	135	139	550		
160	140	149	560		
170	149	160	570		
180	154	175	580		
190	163	185	590		
200	173	195	600		
210	183	205	610		
220	201	219	620		
230	215	235	630		
240	225	245	640		
250	235	255	650		
260	245	269	660		
270	255	280	670		
280	275	295	680		
290	285	305	690		
300	295	319	700		
310	305	335	710		
320	315	345	720		
330	320	355	730		
340	345	375	740		
350	355	395	750		
360	375	410	760		
370	395	425	770		
380	405	445	780		
390	425	475	790		
400	445	495	800		

V. PENGAMATAN DESAK SILINDER BETON

SILINDER B ₃		SILINDER B ₄	
Diameter	14,35 cm	14,5 cm	cm
Tinggi	29,4 cm	29,65 cm	cm
Diuji Tgl	23/10-1999	23/10-1999	
Umur	28 hari	28 hari	

Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)		Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)	
	Silinder B ₃	Silinder B ₄		Silinder B ₃	Silinder B ₄
10	15	10	410	8,05	3,77
20	25	15	420	8,00	4,00
30	35	25	430	8,00	4,00
40	45	35	440	8,00	4,00
50	55	45	450		4,00
60	65	55	460		4,00
70	75	65	470		4,00
80	85	75	480		4,00
90	95	85	490		4,00
100	105	95	500		4,00
110	115	105	510		4,00
120	125	115	520		4,00
130	135	125	530		4,00
140	145	135	540		4,00
150	155	145	550		
160	165	155	560		
170	175	165	570		
180	185	175	580		
190	195	185	590		
200	205	195	600		
210	215	205	610		
220	225	215	620		
230	235	225	630		
240	245	235	640		
250	255	245	650		
260	265	255	660		
270	275	265	670		
280	285	275	680		
290	295	285	690		
300	305	295	700		
310	315	305	710		
320	325	315	720		
330	335	325	730		
340	345	335	740		
350	355	345	750		
360	365	355	760		
370	375	365	770		
380	385	375	780		
390	395	385	790		
400	405	395	800		

V. PENGAMATAN DESAK SILINDER BETON

	SILINDER B5		SILINDER	
Diameter	14,4	cm	.....	cm
Tinggi	29,65	cm	.....	cm
Diuji Tgl	29/10-1900		.....
Umur	28	hari	.....	hari

Beban KN	Regangan (1.10^{-3} mm)		Beban KN	Regangan (1.10^{-3} mm)	
	Silinder B5	Silinder		Silinder	Silinder I
10	70	.....	410	.....	.....
20	76	.....	420	.....	.....
30	80	.....	430	.....	.....
40	85	.....	440	.....	.....
50	90	.....	450	.....	.....
60	95	.....	460	.....	.....
70	60	.....	470	.....	.....
80	70	.....	480	.....	.....
90	80	.....	490	.....	.....
100	89	.....	500	.....	.....
110	95	.....	510	.....	.....
120	1 05	.....	520	.....	.....
130	1 15	.....	530	.....	.....
140	1 25	.....	540	.....	.....
150	1 35	.....	550	.....	.....
160	1 45	.....	560	.....	.....
170	1 55	.....	570	.....	.....
180	1 65	.....	580	.....	.....
190	1 75	.....	590	.....	.....
200	1 85	.....	600	.....	.....
210	1 95	.....	610	.....	.....
220	2 10	.....	620	.....	.....
230	2 25	.....	630	.....	.....
240	2 35	.....	640	.....	.....
250	2 45	.....	650	.....	.....
260	2 60	.....	660	.....	.....
270	2 75	.....	670	.....	.....
280	2 85	.....	680	.....	.....
290	2 95	.....	690	.....	.....
300	3 10	.....	700	.....	.....
310	3 25	.....	710	.....	.....
320	3 35	.....	720	.....	.....
330	3 50	.....	730	.....	.....
340	3 65	.....	740	.....	.....
350	3 80	.....	750	.....	.....
360	3 95	.....	760	.....	.....
370	4 10	.....	770	.....	.....
380	4 30	.....	780	.....	.....
390	4 45	.....	790	.....	.....
400	4 60	.....	800	.....	.....

V. PENGAMATAN DESAK SILINDER BETON

	SILINDER C ₁		SILINDER C ₂
Diameter	14.5	cm	14.55
Tinggi	29.35	cm	29.7
Diuji Tgl	23/10-1999		23/10-1999
Umur	28	hari	28

Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)		Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)	
	Silinder C ₁	Silinder C ₂		Silinder C ₁	Silinder C ₂
10	15	11	410	3.99	3.30
20	20	20	420	3.85	4.00
30	30	30	430	3.91	4.10
40	38	40	440	4.10	4.30
50	45	49	450	4.21	4.40
60	52	58	460	4.40	4.50
70	60	66	470	4.55	4.60
80	68	75	480	4.72	4.75
90	75	81	490	4.85	4.85
100	83	93	500	5.00	4.95
110	90	1.00	510	5.05	5.09
120	98	1.10	520	5.10	5.20
130	105	1.11	530	5.20	5.34
140	112	1.24	540	5.40	5.45
150	120	1.35	550	5.55	5.55
160	128	1.45	560	5.71	5.70
170	140	1.55	570	5.80	5.85
180	150	1.65	580	5.95	6.15
190	155	1.75	590	6.10	6.30
200	164	1.85	600	6.25	6.45
210	175	1.95	610	6.55	6.65
220	185	2.09	620	6.70	6.81
230	195	2.25	630	6.80	6.99
240	205	2.35	640	6.95	7.15
250	215	2.40	650	7.10	7.40
260	225	2.45	660	7.25	7.60
270	235	2.50	670		7.85
280	245	2.55	680		8.10
290	255	2.60	690		8.30
300	265	2.70	700		
310	275	2.80	710		
320	285	2.90	720		
330	290	2.99	730		
340	300	3.10	740		
350	310	3.20	750		
360	320	3.30	760		
370	330	3.45	770		
380	340	3.60	780		
390	350	3.70	790		
400	360	3.80	800		

C₁

C₂

V. PENGAMATAN DESAK SILINDER BETON

	SILINDER C3		SILINDER C4	
Diameter	14,45	cm	14,4	cm
Tinggi	29,6	cm	29,8	cm
Diuji Tgl	23/10-1999		23/10-1999	
Umur	28	hari	28	hari

Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)		Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)	
	Silinder C3	Silinder C4		Silinder C3	Silinder C4
10	20	10	410	385	380
20	15	15	420	395	395
30	25	23	430	411	410
40	33	31	440	422	425
50	41	36	450	432	440
60	52	41	460	445	450
70	60	49	470	459	470
80	66	55	480	470	485
90	75	64	490	481	501
100	85	69	500	494	510
110	94	78	510	507	533
120	101	85	520	511	553
130	110	90	530	535	573
140	115	92	540	545	593
150	126	105	550	555	611
160	135	115	560	575	645
170	145	123	570	591	645
180	155	132	580	504	665
190	165	140	590	520	676
200	175	150	600	532	680
210	183	160	610	551	695
220	193	170	620	566	710
230	204	180	630	582	720
240	214	190	640	603	755
250	225	200	650	625	790
260	235	210	660	640	
270	243	222	670	655	
280	253	235	680	670	
290	261	245	690		
300	271	255	700		
310	281	265	710		
320	293	278	720		
330	301	285	730		
340	316	296	740		
350	320	306	750		
360	335	320	760		
370	341	330	770		
380	354	340	780		
390	362	350	790		
400	374	360	800		

C4
C3

V. PENGAMATAN DESAK SILINDER BETON

210,84
SILINDER C5

Diameter	14,45	cm	.....	cm
Tinggi	29,35	cm	.....	cm
Diuji Tgl	23/10-1999		.....
Umur	28	hari	.....	hari

SILINDER

Beban KN	Regangan (1.10^{-3} mm)		Beban KN	Regangan (1.10^{-3} mm)	
	Silinder C5	Silinder		Silinder C5	Silinder
10	1,2	.....	410	5,80	.....
20	2,0	.....	420	5,90	.....
30	2,5	.....	430	6,10	.....
40	3,5	.....	440	6,20	.....
50	4,1	.....	450	6,30	.....
60	5,1	.....	460	6,40	.....
70	5,5	.....	470	6,50	.....
80	6,5	.....	480	6,60	.....
90	7,5	.....	490	6,70	.....
100	8,5	.....	500	6,80	.....
110	9,5	.....	510	6,90	.....
120	10,1	.....	520	7,00	.....
130	11,0	.....	530	7,10	.....
140	12,0	.....	540	7,20	.....
150	13,2	.....	550	7,30	.....
160	13,5	.....	560	7,40	.....
170	14,5	.....	570	7,50	.....
180	15,0	.....	580	7,60	.....
190	16,0	.....	590	7,70	.....
200	17,0	.....	600	7,80	.....
210	18,0	.....	610	7,90	.....
220	19,0	.....	620	8,00	.....
230	20,0	.....	630	8,10	.....
240	21,0	.....	640	8,20	.....
250	22,0	.....	650	8,30	.....
260	23,0	.....	660	.....	.....
270	24,0	.....	670	.....	.....
280	25,0	.....	680	.....	.....
290	26,0	.....	690	.....	.....
300	27,0	.....	700	.....	.....
310	28,0	.....	710	.....	.....
320	29,0	.....	720	.....	.....
330	30,0	.....	730	.....	.....
340	30,5	.....	740	.....	.....
350	31,0	.....	750	.....	.....
360	32,0	.....	760	.....	.....
370	33,0	.....	770	.....	.....
380	34,0	.....	780	.....	.....
390	35,0	.....	790	.....	.....
400	36,0	.....	800	.....	.....

V. PENGAMATAN DESAK SILINDER BETON

1'44,53"

1'36 2

SILINDER D₁

SILINDER D₂

Diameter 14,5 cm 14,4 cm
 Tinggi 29,5 cm 29,65 cm
 Diuji Tgl 23/10-1999 23/10-1999
 Umur 28 hari 28 hari

Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)		Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)	
	Silinder D ₁	Silinder D ₂		Silinder D ₁	Silinder D ₂
10	11	15	410	420	390
20	21	25	420	425	395
30	30	33	430	435	405
40	39	41	440	440	415
50	45	45	450	445	425
60	54	51	460	455	435
70	60	58	470	465	445
80	69	65	480	475	455
90	75	70	490	485	465
100	85	75	500	495	475
110	93	81	510	505	485
120	100	88	520	515	495
130	110	95	530	525	505
140	118	101	540	535	515
150	125	108	550	545	525
160	133	115	560		
170	141	121	570		
180	151	128	580		
190	160	135	590		
200	170	141	600		
210	180	148	610		
220	190	155	620		
230	200	161	630		
240	210	168	640		
250	215	175	650		
260	231	181	660		
270	241	188	670		
280	255	195	680		
290	265	201	690		
300	275	208	700		
310	285	215	710		
320	290	221	720		
330	310	228	730		
340	320	235	740		
350	330	241	750		
360	350	248	760		
370	365	255	770		
380	375	261	780		
390	395	268	790		
400	410	275	800		

P1 →
P2 →

V. PENGAMATAN DESAK SILINDER BETON

-3-

	SILINDER D ₅		SILINDER	
Diameter	14.15	cm	.....	cm
Tinggi	29.7	cm	.....	cm
Diuji Tgl	23/10-1999		.....
Umur	28	hari	.....	hari

Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)		Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)	
	Silinder D ₅	Silinder		Silinder D ₅	Silinder
10	410	.....	.....
20	420	.....	.....
30	430	.....	.....
40	440	.....	.....
50	450	.....	.....
60	460	.....	.....
70	470	.....	.....
80	480	.....	.....
90	490	.....	.....
100	500	.....	.....
110	510	.....	.....
120	520	.....	.....
130	530	.....	.....
140	540	.....	.....
150	550	.....	.....
160	560	.....	.....
170	570	.....	.....
180	580	.....	.....
190	590	.....	.....
200	600	.....	.....
210	610	.....	.....
220	620	.....	.....
230	630	.....	.....
240	640	.....	.....
250	650	.....	.....
260	660	.....	.....
270	670	.....	.....
280	680	.....	.....
290	690	.....	.....
300	700	.....	.....
310	710	.....	.....
320	720	.....	.....
330	730	.....	.....
340	740	.....	.....
350	750	.....	.....
360	760	.....	.....
370	770	.....	.....
380	780	.....	.....
390	790	.....	.....
400	800	.....	.....

V. PENGAMATAN DESAK SILINDER BETON

SILINDER E ₁		SILINDER E ₂	
Diarneter	14,5 cm	14,45 cm	cm
Tinggi	29,2 cm	29,6 cm	cm
Diuji Tgl	23/10/1999	23/10/1999	
Umur	2,8 hari	2,8 hari	hari

Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)		Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)	
	Silinder E ₁	Silinder E ₂		Silinder E ₁	Silinder E ₂
10	1,5	1,5	410	500	520
20	1,5	1,5	420	510	530
30	2,0	2,0	430	520	540
40	2,5	2,5	440	565	600
50	3,0	3,0	450	590	620
60	3,5	3,5	460	600	630
70	4,0	4,0	470	610	640
80	4,5	4,5	480	620	650
90	5,0	5,0	490	630	660
100	5,5	5,5	500		
110	6,0	6,0	510		
120	6,5	6,5	520		
130	7,0	7,0	530		
140	7,5	7,5	540		
150	8,0	8,0	550		
160	8,5	8,5	560		
170	9,0	9,0	570		
180	9,5	9,5	580		
190	10,0	10,0	590		
200	10,5	10,5	600		
210	11,0	11,0	610		
220	11,5	11,5	620		
230	12,0	12,0	630		
240	12,5	12,5	640		
250	13,0	13,0	650		
260	13,5	13,5	660		
270	14,0	14,0	670		
280	14,5	14,5	680		
290	15,0	15,0	690		
300	15,5	15,5	700		
310	16,0	16,0	710		
320	16,5	16,5	720		
330	17,0	17,0	730		
340	17,5	17,5	740		
350	18,0	18,0	750		
360	18,5	18,5	760		
370	19,0	19,0	770		
380	19,5	19,5	780		
390	20,0	20,0	790		
400	20,5	20,5	800		

V. PENGAMATAN DESAK SILINDER BETON

SILINDER E ₃		SILINDER E ₄	
Diameter	14,25 cm	14,55 cm	cm
Tinggi	30 cm	29,5 cm	cm
Diuji Tgl	23/10-1999	23/10-1999	
Umur	28 hari	28 hari	hari

Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)		Beban KN	Regangan (1.10 ⁻³ mm)	
	Silinder E ₃	Silinder E ₄		Silinder E ₃	Silinder E ₄
10	10	10	410	75	75
20	15	15	420	80	80
30	21	21	430	85	85
40	33	30	440	90	90
50	40	31	450	95	95
60	50	40	460	100	100
70	58	42	470	105	105
80	65	45	480	110	110
90	73	48	490	115	115
100	85	51	500	120	120
110	95	55	510	125	125
120	99	58	520	130	130
130	110	60	530	135	135
140	115	62	540	140	140
150	125	65	550	145	145
160	135	68	560	150	150
170	145	70	570	155	155
180	155	72	580	160	160
190	160	75	590	165	165
200	170	78	600	170	170
210	185	80	610	175	175
220	195	82	620	180	180
230	205	85	630	185	185
240	215	88	640	190	190
250	225	90	650	195	195
260	240	92	660	200	200
270	255	95	670	205	205
280	265	98	680	210	210
290	275	100	690	215	215
300	285	102	700	220	220
310	300	105	710	225	225
320	315	108	720	230	230
330	330	110	730	235	235
340	350	112	740	240	240
350	360	115	750	245	245
360	380	118	760	250	250
370	390	120	770	255	255
380	420	122	780	260	260
390	440	125	790	265	265
400	450	128	800	270	270

V. PENGAMATAN DESAK SILINDER BETON

	SILINDER E5		SILINDER	
Diameter	14,55	cm	.....	cm
Tinggi	29,9	cm	.....	cm
Diuji Tgl	23/10-1999		.....
Umur	28	hari	.....	hari

Beban KN	Regangan (1.10^{-3} mm)		Beban KN	Regangan (1.10^{-3} mm)	
	Silinder E5	Silinder		Silinder E5	Silinder
10	.....	.....	410	710	.....
20	20	.....	420	.....	.....
30	30	.....	430	.....	.....
40	40	.....	440	.....	.....
50	50	.....	450	.....	.....
60	55	.....	460	.....	.....
70	65	.....	470	.....	.....
80	75	.....	480	.....	.....
90	85	.....	490	.....	.....
100	93	.....	500	.....	.....
110	101	.....	510	.....	.....
120	111	.....	520	.....	.....
130	121	.....	530	.....	.....
140	133	.....	540	.....	.....
150	145	.....	550	.....	.....
160	158	.....	560	.....	.....
170	173	.....	570	.....	.....
180	185	.....	580	.....	.....
190	199	.....	590	.....	.....
200	215	.....	600	.....	.....
210	230	.....	610	.....	.....
220	245	.....	620	.....	.....
230	255	.....	630	.....	.....
240	275	.....	640	.....	.....
250	288	.....	650	.....	.....
260	302	.....	660	.....	.....
270	320	.....	670	.....	.....
280	331	.....	680	.....	.....
290	340	.....	690	.....	.....
300	370	.....	700	.....	.....
310	395	.....	710	.....	.....
320	410	.....	720	.....	.....
330	430	.....	730	.....	.....
340	450	.....	740	.....	.....
350	475	.....	750	.....	.....
360	510	.....	760	.....	.....
370	525	.....	770	.....	.....
380	575	.....	780	.....	.....
390	615	.....	790	.....	.....
400	660	.....	800	.....	.....