

**KAJIAN PEMULIHAN SERAPAN DAN PENETRASI
BETON RINGAN BERSERAT ALUMINIUM PASCA BAKAR
DENGAN VARIASI WAKTU *WATER CURING***

*(Study of Recovering the Absorption and Penetration of Post Burn Lightweight
Concrete Fibrous Aluminium with Water Curing Variations)*

SKRIPSI

Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret Surakarta



Disusun Oleh :

ARIF ENDRA PRADANA

NIM I 1106020

**JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

2011

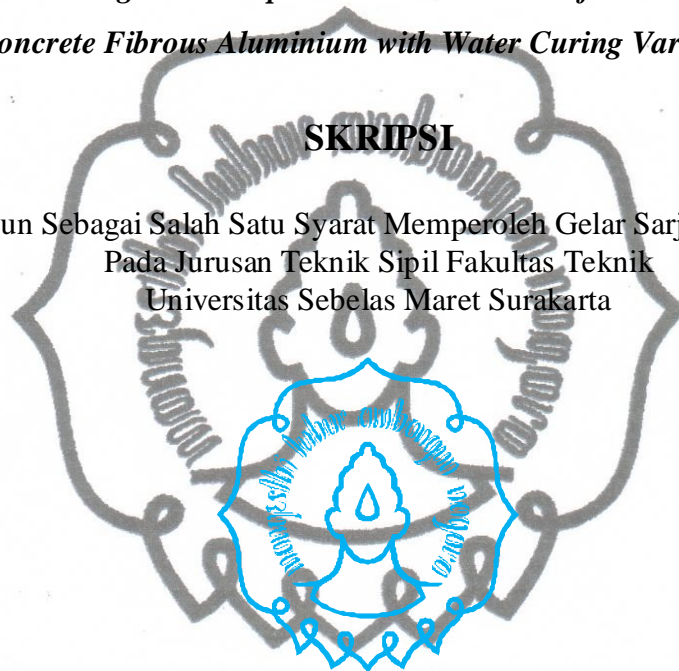
HALAMAN PERSETUJUAN

**KAJIAN PEMULIHAN SERAPAN DAN PENETRASI
BETON RINGAN BERSERAT ALUMINIUM PASCA BAKAR
DENGAN VARIASI WAKTU WATER CURING**

*(Study of Recovering the Absorption and Penetration of Post Burn Lightweight
Concrete Fibrous Aluminium with Water Curing Variations)*

SKRIPSI

Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret Surakarta



Disusun Oleh :

ARIF ENDRA PRADANA

NIM I 1106020

Telah disetujui dan dipertahankan di hadapan Tim Penguji Pendadaran Jurusan
Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

Persetujuan :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Antonius Mediyanto, MT

commit to user

Wibowo, ST, DEA

NIP. 19620118 199512 1 001

NIP. 19681007 199502 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

**KAJIAN PEMULIHAN SERAPAN DAN PENETRASI
BETON RINGAN BERSERAT ALUMINIUM PASCA BAKAR
DENGAN VARIASI WAKTU WATER CURING**

*(Study of Recovering the Absorption and Penetration of Post Burn Lightweight
Concrete Fibrous Aluminium with Water Curing Variations)*

SKRIPSI**Disusun Oleh :****ARIF ENDRA PRADANA****NIM I 1106020**

Telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Pendarasan Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret pada hari Jumat, 21 Oktober 2011 :

1. Ir. Antonius Mediyanto, MT
NIP. 19620118 199512 1 001

2. Wibowo, ST, DEA
NIP. 19681007 199502 1 001

3. Edy Purwanto, ST., MT
NIP. 19680912 199702 1 001

4. Ir. Slamet Prayitno, MT
NIP. 19531227 198601 1 001

Mengetahui,
a.n. Dekan Fakultas Teknik UNS
Pembantu Dekan I

Disahkan,
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNS

Disahkan,
Ketua Program S1 Non-Reguler
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNS

Kusno Adi Sambowo, Ph.D

commit to user
Ir. Bambang Santosa, MT

Edy Purwanto, ST., MT

NIP. 19691026 199503 1 002

NIP. 19590823 198601 1 001

NIP. 19680912 199702 1 001

MOTTO

Tetap semangat dan jangan menyerah.
 Hadapilah semua dengan penuh suka cita.
 Kegagalan adalah kunci dari keberhasilan.
 Kegagalan bukanlah akhir dari segalanya.

PERSEMBAHAN

Kupersembahkan karya ini untuk :

Bapak dan Ibu, atas cinta, kasih sayang, doa, dan dukungan
 yang telah diberikan selama ini...

Kakak-kakaku di Jakarta, atas supportnya....

Karen Yemima di Jakarta, atas semangat dan dukungannya...

Saudaraku-saudaraku satu kontrakan yang penuh keceriaan...
 (Ton2, Item, Jaja, Sontip, Andri, Julham, Ibo, Sodiq, Bege, Ojan,
 Antok, Tok2)

Teman-teman seperjuangan ...
 (Hurya, Sono, Tinggi, Bodong, Poksay, Mas Fagil, Mas Dwi, Bdul,
 Sinta, Jogek, Agus, Udin, Eci, Unyil, gondrong, Rosid)
 Thanks atas bantuannya

Teman, saudara, dan sahabat angkatan '06, dan teman-teman
 semua yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu, terimakasih
 atas ikatan persaudaraan kita

Terima kasih yang sebesar-besarnya untuk PAK MEDI dan PAK
 WIBOWO atas bantuan dan bimbingannya selama ini...

commit to user

Almamaterku, Universitas Sebelas Maret Surakarta...**ABSTRAK**

Arif Endra Pradana, 2011. "KAJIAN PEMULIHAN SERAPAN DAN PENETRASI BETON RINGAN BERSERAT ALUMINIUM PASCA BAKAR DENGAN VARIASI WAKTU *WATER CURING*". Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Beton merupakan bahan struktur yang sangat populer, yang sering digunakan dalam sebuah konstruksi, karena beton memiliki kelebihan. Tetapi beton juga memiliki kelemahan diantaranya adalah berat jenis beton relatif besar dan beton tidak kuat menahan gaya tarik. Dalam penelitian ini untuk mengatasi masalah di atas, dengan mereduksi agregat kasar menggunakan ALWA dan memberi bahan tambah berupa serat aluminium. Kebakaran yang sering terjadi pada sebuah bangunan, akan mengakibatkan kerusakan pada beton. Penelitian ini membahas seberapa besar nilai serapan dan penetrasi beton ringan serta beton ringan berserat aluminium pada kondisi pasca bakar, dan setelah mendapat perawatan ulang (*water curing*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui waktu *curing* minimal agar didapatkan pemulihan maksimal pada beton ringan berserat aluminium pasca bakar yang ditinjau dari nilai serapan dan penetrasinya.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan total benda uji 72 buah yang terdiri dari 2 variasi campuran dan 6 variasi perawatan. Benda uji pada penelitian ini berupa silinder beton yang dicetak di dalam pipa PVC, dengan ukuran diameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm, untuk pengujian serapan dan penetrasi beton ringan pasca bakar. Pengujian dilakukan pada saat umur beton 28 hari, sedangkan untuk beton pasca bakar pengujian dilakukan setelah perawatan ulang umur 14, 28, 42 dan 56 hari.

Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa beton yang ditambah dengan serat aluminium dan beton setelah dibakar pada suhu 500°C akan mengakibatkan nilai serapan dan penetrasi beton bertambah, sehingga mengakibatkan kualitas beton menurun. Perawatan ulang yang dilakukan pada beton pasca bakar suhu 500°C mengalami penurunan nilai serapan dan penetrasinya. Nilai serapan air pada beton rendaman 10+0,5 menit untuk variasi tanpa pembakaran, 500°C, 500°C+*curing* 14 hari, 500°C+*curing* 28 hari, 500°C+*curing* 42 hari dan 500°C+*curing* 56 hari berturut-turut : (SRN : 1,75; 3,21; 2,52; 2,39; 2,20; 1,99), (SRNF: 2,19; 3,95; 3,36; 3,03; 2,50; 2,49). Kedalaman penetrasi beton untuk variasi tanpa pembakaran, 500°C, 500°C+*curing* 14 hari, 500°C+*curing* 28 hari, 500°C+*curing* 42 hari dan 500°C+*curing* 56 hari berturut-turut : (PRN: 2,73; 3,4; 3,23; 3,07; 2,97; 2,93), (PRNF: 3,1; 3,70; 3,63; 3,50; 3,43; 3,27). Perawatan ulang pada beton dapat memulihkan kekutan beton, dimana pemulihan maksimum terjadi pada *curing* 56 hari sebesar : SRN 87,94%; SRNF 87,95%; PRN 93,74% dan PRNF 94,80%.

Kata kunci: Beton ringan, *Curing*, Serapan, Penetrasi, Pasca bakar, Serat aluminium

commit to user

ABSTRACT

Arif Endra Pradana, 2011. "STUDY OF RECOVERING THE ABSORPTION AND PENETRATION OF POST BURN LIGHTWEIGHT CONCRETE FIBROUS ALUMINIUM WITH WATER CURING VARIATIONS". Thesis of Civil Engineering Department of Engineering Faculty of Surakarta Sebelas Maret University.

Concrete is a very popular structure material, frequently used in a construction, because it has some advantages. But concrete also has disadvantages such as relatively high density and it is not strong enough to resist pulling force. In this research, the problems above are with by reducing the coarse aggregate using ALWA and adding the supplemental material, namely aluminum fiber. Fire often occurring in a building will lead to concrete damage. This research discusses the extent of absorption and penetration value of light concrete as well as aluminum fibred light concrete in post-burn condition, and after treated by water curing. The objective of research is to find out the minimum curing time to get maximum recovery in post-burn aluminum-fibred light concrete based on its absorption and penetration values.

This research employed an experimental method with 72 sample consisting of 2 mixed variations and 6 maintenance variations. The sample in this research constitute the concrete cylinder molded in PVC pipe, with 7.5 cm diameter and 15 cm height, for absorption and penetration examination of post-burn light concrete. The examination was done in the day-28 of concrete age, while the examination of post-burn concrete was done after water curing at the days-14, 28, 42, and 56.

From the result of examination, it can be found was reinforced aluminum fiber and the concrete after burning at 500°C will result in increased absorption and penetration values of concrete. Water curing that was done to post-burn concrete at 500°C encountered the decreased absorption and penetration values. The water absorption values concrete to soak 10+0.5 minutes for variations of without burning, 500°C, 500°C + 14 days curing, 500°C + 28 days curing, 500°C + 42 days curing and 500°C + 56 days curing are: (SRN : 1,75; 3,21; 2,52; 2,39; 2,20; 1,99), (SRNF: 2,19; 3,95; 3,36; 3,03; 2,50; 2,49), respectively. The concrete penetration depth for variations of without burning 500°C, 500°C + 14 days curing, 500°C + 28 days curing, 500°C + 42 days curing and 500°C + 56 days curing are: (PRN: 2,73; 3,4; 3,23; 3,07; 2,97; 2,93), (PRNF: 3,1; 3,70; 3,63; 3,50; 3,43; 3,27), respectively. Water curing can recovery the strength of concrete, maximum recovery of curing during 56 day are SRN SRN 87,94%; SRNF 87,95%; PRN 93,74% dan PRNF 94,80%.

commit to user

Keywords: light concrete, curing, absorption, penetration, post-burn, aluminum fiber.



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN MOTTO DAN PESEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
 BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.5.1. Manfaat Praktis	3
1.5.2. Manfaat Teoritis	3
 BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1. Tinjauan Pustaka	4
2.2. Dasar Teori	6
2.2.1. Pengertian Beton	6
2.2.2. Pengertian Beton Ringan.....	6
2.2.3. Pengertian Beton Ringan dengan Bahan Tambah Serat Aluminium.....	7
2.2.4. Pengertian Beton Pasca Bakar	7
2.2.5. Water Curing.....	7

commit to user

2.2.6. Material Penyusun Beton Ringan dengan Bahan Tambah Serat Aluminium.....	8
2.2.6.1. Semen Portland.....	8
2.2.6.2. Agregat Halus	11
2.2.6.3. Agregat Kasar (ALWA).....	11
2.2.6.4. Air	11
2.2.6.5. Serat Aluminium.....	12
2.2.7. Mekanisme Kinerja Serat.....	13
2.2.8. Beton Kedap Air.....	13
2.2.8.1. Definisi Beton Kedap Air	13
2.2.8.2. Spesifikasi Bahan.....	14
2.2.9. Serapan Air	16
2.2.9.1. Serapan Air sebagai Salah Satu Faktor Durabilitas	16
2.2.9.2. Hal-Hal Yang Mempengaruhi Besar Serapan Air	17
2.2.10. Penetrasi Beton.....	19
2.2.11. Mekanisme Pengaliran.....	22
2.2.11.1. Mekanisme Masuknya Air Ke Dalam Beton.....	22

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1. Umum	26
3.2. Benda Uji.....	26
3.3. Tahap dan Prosedur Penelitian.....	28
3.4. Standar Penelitian dan Spesifikasi Bahan Dasar.....	32
3.4.1. Standar Pengujian Agregat Halus	32
3.4.2. Standar Pengujian Agregat Kasar	32
3.5. Standar Pengujian Serapan dan Penetrasi	33
3.6. Alat-Alat yang Digunakan	33
3.7. Pengujian Bahan Dasar Beton.....	35
3.7.1. Pengujian Agregat Halus.....	35
3.7.2. Pengujian Agregat Kasar.....	42
3.8. Perencanaan Campuran Beton	45
3.9. Pembuatan Benda Uji.....	46

3.10.	Pengujian Nilai <i>Slump</i>	46
3.11.	Perawatan Benda Uji.....	47
3.12.	Pembakaran Benda Uji.....	47
3.13.	Pengujian serapan Beton.....	47
3.14.	Pengujian Penetrasi Beton	48
3.15.	Analisis Data dan Pembahasan	49

BAB 4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1.	Hasil Pengujian Agregat	50
4.1.1.	Hasil Pengujian Agregat Halus	50
4.1.2.	Hasil Pengujian Agregat Kasar ALWA	52
4.2.	Hasil Pengujian Aluminium.....	54
4.3.	Perhitungan Rancang Campur Beton	55
4.4.	Hasil Pengujian Nilai <i>Slump</i>	55
4.5.	Data Hasil Waktu Pembakaran.....	56
4.6.	Data Hasil Pengujian Benda Uji dan Analisis Data	57
4.6.1.	Hasil Pengujian Serapan Air	57
4.6.2.	Hasil Pengujian Penetrasi.....	61
4.7.	Pembahasan.....	65

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.	Kesimpulan	68
5.2.	Saran	68

DAFTAR PUSTAKA	69
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN	xiv
-----------------------	------------

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang sangat populer, yang sering digunakan dalam sebuah konstruksi. Material ini menjadi salah satu pilihan utama dalam pembuatan suatu struktur bangunan, karena material ini mempunyai kelebihan dibandingkan dengan material lain. Kelebihan beton yaitu kuat menahan gaya tekan, tahan terhadap korosi, beton mudah dibentuk sesuai kebutuhan dan perawatannya mudah. Disamping beton mempunyai kelebihan, beton juga mempunyai kelemahan, yaitu tidak kuat menahan gaya tarik dan berat beton sendiri yang relatif besar, yaitu beton normal mempunyai berat jenis 2400 kg/m^3 ($2,4 \text{ ton/ m}^3$). Akibat kuat tarik beton yang rendah, membuat beton retak jika menerima beban yang cukup besar. Untuk mengurangi kelemahan-kelemahan di atas maka dalam penelitian ini menggunakan beton ringan dengan memakai ALWA sebagai agregat kasarnya dan untuk memperbaiki kuat tarik beton ringan, maka ditambah dengan serat, yaitu serat aluminium.

Kelemahan yang lain dari material ini yaitu bila terjadi kebakaran pada beton, sehingga terjadi kenaikan suhu yang membuat kekutan pada beton cenderung menurun. Hal ini disebabkan berubahnya komposisi kimianya yang juga mengakibatkan perubahan mikrostruktur beton dan secara keseluruhan terjadi perubahan perilaku material beton, sehingga mengakibatkan kekutan beton menurun. Proses kebakaran pada beton mengakibatkan dehidrasi pada kristal betonnya, setelah disiram dengan air akan mengembalikan air krista tersebut (Partowiyatmo 2004).

Dengan terjadinya dehidrasi akibat kebakaran, beton mengalami penurunan kuat tekan. Hal ini didukung oleh terjadinya penurunan tegangan dan terjadinya peningkatan regangan pada beton. Nilai modulus elastisitas menurun yang berarti tingkat kekakuan beton berkurang dari nilai modulus elastisitas awalnya. Disamping itu terjadi perubahan nilai porositasnya dan nilai permeabilitasnya meningkat. Salah satu faktor yang mempengaruhi durabilitas beton adalah permeabilitas beton, yaitu kemudahan beton untuk dapat dilalui air, selain itu durabilitas beton juga ditentukan oleh nilai serapan dan penetrasinya. Dalam penelitian ini akan membahas seberapa besar serapan dan penetrasi beton ringan serta beton ringan dengan bahan tambah serat aluminium pada kondisi pasca bakar. Suhu pembakaran diberikan berdasarkan suhu dimana beton mulai menurun kekuatannya yaitu kira-kira lebih dari 300°C dan suhu leleh aluminium yaitu kira-kira 660°C, sehingga suhu pembakarannya adalah 500°C, selanjutnya dilakukan perawatan ulang dengan variasi waktu perawatannya. Perawatan yang dimaksud adalah dengan membasahi beton dengan karung basah dengan variasi waktu yaitu 14 hari, 28 hari, 42 hari dan 56 hari. Beton yang mengalami perawatan ulang adalah beton pasca bakar.

1.2. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang dan ruang lingkup penelitian masalah yang telah diuraikan diatas, maka dapat diambil suatu rumusan masalah sebagai berikut :

Seberapa besar pemulihan yang terjadi pada beton ringan dan beton ringan dengan bahan tambah serat aluminium pasca bakar suhu 500°C setelah mendapat perawatan ulang dengan variasi waktu perawatan yaitu 14 hari, 28 hari, 42 hari dan 56 hari.

1.3. BATASAN MASALAH

Dalam penelitian diberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

- a. Semen yang digunakan adalah semen PCC (*Portland Composite Cement*).
- b. Volume serat aluminium yang digunakan adalah 0,75 % dari volume beton.

- c. Aluminium yang digunakan mempunyai panjang 50 mm, lebar 2 mm dan tebal 0,18 mm.
- d. Seluruh agregat kasar menggunakan ALWA sebagai pengganti batu pecah.
- e. Tidak dibahas reaksi kimia yang terjadi pada campuran terhadap bahan-bahan yang digunakan.
- f. Suhu pembakaran 500°C.

1.4. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

Mengetahui waktu curing minimal agar didapat pemulihan maksimal nilai penetrasi dan serapan pada beton ringan dan beton ringan berserat aluminium pasca bakar.

1.5. MANFAAT PENELITIAN

1.5.1 Manfaat Teoritis

- a. Memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu bahan dan struktur.
- b. Menambah pengetahuan tentang serapan dan penetrasi beton ringan berserat aluminium pasca bakar ditinjau dari parameter variasi waktu perawatan.

1.5.2. Manfaat Praktis

Menambah alternatif pemanfaatan limbah aluminium sebagai bahan campuran pembuatan beton untuk mengatasi kekurangan dan kelangkaan bahan pembuat adukan beton.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Beton merupakan bahan struktur yang terbuat dari campuran semen, agregat, dan air, yang mempunyai berat sendiri relatif besar, yaitu 2400 kg/m^3 . Untuk mengurangi berat sendiri atau beban mati dari beton, maka digunakan beton ringan yang mempunyai berat jenis kurang dari 1800 kg/m^3 . Beton ringan mempunyai berat jenis yang lebih ringan daripada beton normal, dikarenakan adanya pori-pori atau gelembung udara pada agregat maupun mortar pada beton ringan (Tjokrodinuljo 1996).

Susunan beton secara umum, yaitu 7-15% semen, 16-21% air, 25-30% agregat halus dan 31-50% agregat kasar (Nugraha, 2007).

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah beton ringan yang menggunakan *artificiall lightweight coarse aggregate* (ALWA) sebagai agregat kasarnya. ALWA yang sering digunakan semisal *bloated clay*, *crushed bricks* atau *fly ash based coarsed aggregate*, yang diperoleh dengan pembutan pada *rotary kiln*, batu tulis yang berbusa, dan batu apung (Ali, et.al, 1989).

Penelitian ini juga menggunakan bahan tambah berupa serat. Serat yang sering digunakan semisal serat asbes, serat tumbuh-tumbuhan (rami, bamboo, ijuk), serat plastik (*polypropylene*) atau potongan kawat baja. Pada umumnya serat yang digunakan untuk campuran beton berupa batang-batang dengan diameter antara 5-500 mm (*micro meter*) dan panjang sekitar 25 mm-100 mm (Tjokrodinuljo 1996).

Sifat tahan api (*fire resistance*) unsur-unsur bangunan secara umum diukur dan ditetapkan menurut standar ASTM E 199. Daya tahan didefinisikan sebagai lamanya bahan bertahan terhadap kebakaran standar sebelum titik kritis akhir pertama dicapai. Pada suhu yang sama dengan suhu yang dijumpai pada kebakaran, kekuatan dan modulus elastisitas berkurang. Selain itu, sifat-sifat beton pada suhu tinggi dipengaruhi juga (dalam batas tertentu) oleh agregat. Pengaruh agregat silikat dan agregat berbobot ringan akan memberikan pengaruh yang berbeda pada sifat-sifat beton selama kebakaran atau pasca bakar (*Gustaferro, 1966*).

Akibat kebakaran atau kenaikan suhu pada beton akan merubah komposisi kimianya, retak, lepas dan kehilangan kekuatan. Kehilangan kekuatan terjadi karena perubahan komposisi kimia secara bertahap pada pasta semennya. Retak diakibatkan adanya perbedaan perubahan volume antara pasta semen dengan butir-butir agregat. Mengelupasnya bagian luar akibat perbedaan perubahan volume antara luar beton yang panas dan bagian dalam beton yang masih dingin (*Tjokrodinuljo, 1996*). Beton yang dibakar pada temperatur tinggi mengakibatkan penurunan kekuatan, pengelupasan, dan retak-retak pada beton (*Nugraha, 2007*).

Hansen (1976), menyebutkan beton mengalami sedikit peningkatan kuat tekan beton bila dipanaskan pada temperatur 200 °C-300 °C, tetapi bila dipanaskan pada temperatur 400 °C, kuat tekan akan akan menurun lebih dari 20%, dan kuat tekan akan menurun 70% bila dipanaskan pada temperature 700 °C.

Beton bila dipanaskan pada temperatur 200 °C, air yang teresap di dalam agregat akan menguap, dan beton bila dipanaskan pada temperatur 400 °C, pasta semen yang sudah terhidrasi akan terurai kembali sehingga mengakibatkan kekuatan beton terganggu (*Nugraha, 2007*).

Dari hasil pembakaran pada temperature 300, 400°C dan 500°C, beton ringan mengalami penurunan nilai kuat tarik belah dan MOR terhadap suhu kamar. Setelah

dilakukan perawatan (*curing*) pada beton ringan yang dibakar pada suhu 500°C, beton ringan tersebut mengalami kenaikan nilai kuat tarik belah dan MOR, mencapai 120% untuk kuat tarik belah dan 33,33% untuk pengujian MOR (Mediyanto, 2009).

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Pengertian Beton

Beton adalah bahan struktur yang komposit, yang terbuat dari campuran semen, agregat dan air dengan perbandingan tertentu. Terkadang beton juga diberi bahan tambahan (*admixture*) untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, misalnya kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas dan waktu pengerasan. Campuran beton di atas akan mengalami reaksi kimia antara semen dan air yang akan berlangsung dalam jangka waktu yang panjang, semakin lama umur beton, akan semakin keras beton tersebut.

2.2.2. Pengertian Beton Ringan

Beton ringan adalah beton yang mempunyai berat jenis lebih kecil dari berat jenis beton normal, yaitu kurang dari 1800 kg/m³. Campuran beton ringan pada dasarnya sama dengan campuran pada beton normal, berat jenisnya direduksi. Reduksinya dilakukan dengan cara menggunakan *artificiall light weight aggregate (ALWA)* sebagai agregat kasarnya, semisal *bloated clay*, *crushed bricks* atau *fly ash based coursed aggregate* yang diperoleh dengan pembuatan pada *rotary kiln*, batu tulis, batu bara yang berbusa, dan batu apung (Ali, et.al.1989). Pembuatan beton ringan juga bisa dilakukan dengan cara pencampuran *additive* yang mengahilkan rongga udara setelah bercampur dengan semen atau agregat halus dalam beton (Murdock and Brook, 1991).

2.2.3. Pengertian Beton Ringan dengan Bahan Tambah Serat Aluminium

Beton ringan dengan bahan tambah serat aluminium adalah suatu material yang dibuat dari campuran semen portland, pasir, air dan ditambah dengan serat aluminium, dengan perbandingan tertentu. Pembuatan beton ringan berserat aluminium sama seperti dengan pembuatan beton ringan, dicampur dan diaduk secara merata agar diperoleh hasil yang homogen.

2.2.4. Pengertian Beton Pasca Bakar

Kebakaran adalah sebuah proses kimia, yaitu oksidasi dari suatu material organik. Kebakaran adalah penyebab utama hancurnya struktur bangunan dan hilangnya umur bangunan, sehingga beton yang dibakar pada temperatur tinggi akan mengalami kerusakan dan penurunan kekuatan. Beton pasca bakar adalah beton yang sudah mengalami proses pembakaran, sehingga beton tersebut mengalami kerusakan dan kekuatan beton terganggu.

2.2.5. Water Curing

Pembasahan air (*water curing*) pada beton pasca bakar dapat mengembalikan kekuatan dengan membangun β CSH dalam kristalnya. **(Partowiyatmo & Sudarmadi, 2004; Kusno & Mediyanto, 2008)**

Perawatan dengan pembasahan air selama 28 hari pada beton ringan metakaolin berserat aluminium dapat meningkatkan kuat tekan rata-rata, modulus elastisitas rata-rata, kuat belah rata-rata dan modulus runtuh rata-rata sebesar berturut-turut 38,46%; 44,47%; 85,12%, dan 25,21%. Hal ini dapat diartikan bahwa usaha pembasahan dengan air membantu pemulihan tubermorit (CSH) sebagai unsur yang menentukan kekuatan beton **(Mediyanto dkk., 2009)**. Dalam penelitian ini dilakukan perawatan/pembasahan air dengan berbagai intensitas waktu, yaitu selama 14, 28, 42,

dan 56 hari untuk mendapatkan waktu *curing* minimum dengan hasil pemulihan maksimum.

2.2.6. Material Penyusun Beton Ringan dengan Bahan Tambah Serat Aluminium

Material penyusun beton ringan dengan bahan tambah serat aluminium terdiri dari semen, agregat halus, agregat kasar (ALWA), air dan serat aluminium. Kualitas atau mutu beton dapat ditentukan antara lain dengan cara pemilihan bahan-bahan penyusun beton yang baik, perhitungan proporsi campuran yang tepat, cara pengerjaan dan perawatan beton yang baik serta cara pemilihan bahan tambah yang tepat dengan dosis optimum yang diperlukan.

2.2.6.1. 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, dalam Tjokrodinuljo, 1996*). Fungsi semen adalah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang padat dan juga untuk mengisi rongga-rongga antar butir agregat.

Semen yang tahan sulfat harus memiliki kandungan C_3A tidak lebih dari 5%. Semen yang kandungan C_3A -nya tinggi, jika terkena sulfat yang terdapat pada air atau tanah akan mengeluarkan C_3A yang bereaksi dengan sulfat dan mengembang, sehingga mengakibatkan retak-retak pada betonnya. (*Mulyono, Tri., 2005*).

a. Jenis-Jenis dan Kegunaan Semen

Sesuai dengan tujuan dari penggunaannya, semen Portland di Indonesia dibagi menjadi 5 jenis, yaitu :

- 1) Jenis I : Semen Portland jenis umum, adalah jenis semen untuk konstruksi beton secara umum dimana tidak diminta persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis semen lainnya.
- 2) Jenis II : untuk konstruksi terutama yang mensyaratkan agar tahan terhadap sulfat kadar sedang dan panas hidrasi sedang.
- 3) Jenis III: untuk konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal tinggi setelah pencampuran dengan air.
- 4) Jenis IV : untuk konstruksi yang pemakaiannya menuntut persyaratan dihasilkan panas hidrasi yang rendah.
- 5) Jenis V : untuk konstruksi yang menuntut persyaratan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

Semen Portland Komposit (PCC), kekuatan kelas 42,5 R

- 1) PCC yang digunakan untuk konstruksi beton umum mirip dengan Semen Portland jenis I dengan kekuatan yang kompatibel.
- 2) Perbedaan dengan semen Portland tipe I hanya pada penambahan zat adiktif pada semen PCC.
- 3) Umum digunakan untuk bangunan, jalan, jembatan

b. Bahan Dasar Penyusun Semen

Bahan dasar penyusun semen terdiri dari mayor oksida dan minor oksida. Unsur pokok (mayor oksida) terdiri dari bahan-bahan yang terutama mengandung kapur, silika, alumina dan oksida besi. Sedangkan bahan penyusun semen lainnya yang jumlahnya kecil dari berat semen (*minor oksida*) yaitu MgO , TiO , Mn_2O_3 , K_2O , dan Na_2O (Murdock and Brook, 1987).

Sebagai hasil perubahan susunan kimia yang terjadi diperoleh susunan kimia yang kompleks, namun pada semen biasa dapat dilihat pada Tabel 2.1 Oksida-oksida tersebut berinteraksi satu sama lain untuk membentuk serangkaian produk yang lebih kompleks selama peleburan.

Tabel 2.1 Susunan Unsur Semen

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

(Sumber : Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996)

Selanjutnya dalam proses setting dan hardening akibat reaksi antara semen dan air, senyawa-senyawa C₃S, C₂S, C₃A, dan C₄AF mengalami hidrasi yang mekanismenya dapat digambarkan sebagai berikut :

1) Hidrasi kalsium silikat (C₃S dan C₂S)

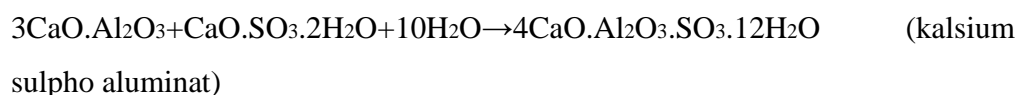
Kalsium silikat akan terhidrasi menjadi kalsium hidroksida dan kalsium silikat hidrat



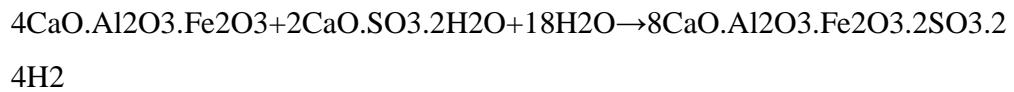
Terbentuknya kalsium hidroksida pada proses hidrasi diatas menyebabkan pasta semen bersifat basa, hal ini dapat mencegah korosi pada baja akan tetapi menyebabkan pasta semen cukup reaktif terhadap asam.

2) Hidrasi Kalsium Aluminat (C₃A)

Proses hidrasi C₃A akan menghasilkan kalsium aluminat hidrat setelah semua kandungan gypsum (CaO.SO₃.2H₂O) habis bereaksi.



3) Hidrasi Kalsium Aluminat Ferrite (C₄AF)



2.2.6.2. Agregat Halus

Menurut Tjokrodimuljo (1996), agregat halus adalah agregat yang berbutir kecil (lebih kecil dari 4,8 mm). Dalam pemilihan agregat halus harus benar-benar memenuhi persyaratan yang telah ditentukan, karena hal ini sangat menentukan dalam hal kemudahan pengerjaan (*workability*), kekuatan (*strength*) dan tingkat keawetan (*durability*) dari beton yang dihasilkan. Pasir sebagai bahan pembentuk mortar bersama-sama dengan semen dan air berfungsi mengikat agregat kasar menjadi satu kesatuan yang kuat dan padat.

2.2.6.3. Agregat Kasar (ALWA)

ALWA merupakan agregat ringan yang terbuat dari lempung sedimenter yang telah mengalami proses pemanasan pada tungku (*klinker*) dengan suhu antara 500°C sampai dengan 1200°C. Lempung sedimenter yang dipanaskan ini akan membuat kandungan silika mengeras dan menyelimuti butiran, sehingga mengeras dan dapat digunakan sebagai agregat ringan beton. ALWA yang dipakai dalam penelitian ini merupakan hasil produksi UPT Puskim Cilacap.

2.2.6.4. Air

Air merupakan bahan dasar pembuatan dan perawatan beton serta sangat penting dan harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Menurut Tjokrodimuljo (1996) dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya air memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Tidak boleh mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
- b. Tidak boleh mengandung garam-garam yang merusak beton (asam, zat organik, dll) lebih dari 15 gram/liter.
- c. Tidak boleh mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
- d. Tidak boleh mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Air yang dibutuhkan agar terjadi proses hidrasi kira-kira 25% dari berat semen (*Tjokrodinuljo, 1996*). Penggunaan air yang terlalu banyak dapat mengakibatkan berkurangnya kekuatan beton. Disamping digunakan sebagai bahan campuran beton, air dapat pula digunakan untuk perawatan beton dengan cara pembasahan setelah dicor dan untuk membasahi atau membersihkan acuan.

2.2.6.5. Serat Aluminium

Beton serat didefinisikan sebagai beton yang dibuat dari campuran semen, agregat, air dan sejumlah serat yang disebar secara random. Prinsip penambahan serat adalah memberi tulangan pada beton yang disebar merata kedalam adukan beton dengan orientasi random untuk mencegah terjadinya retakan-retakan beton yang terlalu dini di daerah tarik akibat panas hidrasi maupun akibat pembebanan (*Soroushian dan Bayasi, 1987*).

Telah terbukti bahwa penambahan serat aluminium dalam beton selain dapat memperbaiki kekuatan tarik beton dan sifat getasnya, juga dapat memperbaiki sifat-sifat yang lainnya, seperti menambah kekuatan geser, keuletan beton bertambah, daya tahan yang lebih besar dalam menerima beban kejut (*Harjono, 2001*).

2.2.7. Mekanisme Kinerja Serat

Penambahan serat aluminium ke dalam beton akan meningkatkan kinerja beton dalam kapasitas tarik, kuat lentur, *toughness*, ketahanan terhadap formasi retak, dan kuat geser. Umumnya peningkatan kinerja disebabkan oleh kontribusi serat yang berfungsi sebagai ankur dalam beton yang menambah kapasitas kuat tarik beton dan setelah beton retak, beton masih diikat oleh ankur serat aluminium hingga proses *pull-out* dari beton.

Kontribusi aluminium terhadap peningkatan kinerja beton ditentukan oleh kuat lekat antara beton dan serat, kuat pengangkuran, dimensi dan bentuk serat baja, orientasi serat baja kedalaman pengangkuran dan jumlah serat baja. Berikut mekanisme kinerja serat pada Gambar 2.1:



Gambar 2.1 Mekanisme Kinerja Serat

2.2.8. Beton Kedap Air

2.2.8.1. Definisi Beton Kedap Air

Berdasarkan SK SNI S-36-1990-03 definisi dari beton kedap air adalah beton yang tidak tembus air dan harus memenuhi ketentuan minimum sebagai berikut :

- a. Untuk beton kedap air normal, apabila diuji dengan cara perendaman dalam air :

- 1) Selama 10 + 0,5 menit, absorpsi (resapan) maksimum 2,5% terhadap berat beton kering oven.
- 2) Selama 24 jam, absorpsi (resapan) maksimum 6,5% terhadap berat beton kering oven.
- b. Untuk beton kedap air agresif, apabila diuji dengan cara tekanan air maka tembusnya air ke dalam beton tidak melampaui batas sebagai berikut :
 - 1) Agresif sedang : 50 mm
 - 2) Agresif kuat : 30 mm

Tabel 2.2 Tekanan Air Pada Sampel Beton dan Waktu Penekanan

Tekanan Air (kg/cm ²)	Waktu (jam)
1	48
3	24
7	24

2.2.8.2. Spesifikasi Bahan

Bahan yang digunakan untuk membuat beton kedap air adalah :

- a. Semen dengan tipe sebagai berikut :
 - 1) Semen portland tipe I-V.
 - 2) Semen portland pozzoland (SPP).
- b. Agregat dengan mutu harus memenuhi standar yang berlaku dan gradasi agregat harus memenuhi ketentuan yang disyaratkan.
- c. Air dengan mutu harus sesuai ketentuan yang berlaku.
- d. Bahan tambahan harus sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Tabel 2.3. Gradasi Agregat Halus

Ayakan (mm)	Batas % Berat Yang Lewat Ayakan			
	Umum	Khusus		
		Kasar	Sedang	Halus
10	100	-	-	-
5	89-100	-	-	-
2,36	60-100	60-100	65-100	80-100
1,18	30-100	30-90	45-100	70-100
0,60	15-100	15-54	25-80	55-100
0,30	5-20	5-40	5-48	5-70
0,15	0-15			

Tabel 2.4. Kandungan Butir Halus 0,30 mm dalam 1m³ Beton

Ukuran Normal Maksimum Butir Agregat (mm)	Minimum Kandungan Butir Halus Dalam 1m ³ Beton (kg/m ³)
10	520
20	450
40	400

Tabel 2.5 Ketentuan Minimum Untuk Beton Bertulang Kedap Air

Jenis Beton	Kondisi Lingkungan Berhubungan Dengan	Faktor Air Semen Maksimum	Tipe Semen	Kandungan Semen Minimum kg/m ³ Ukuran Nominal Maksimum Agregat	
				400 mm	200 mm
Ber-tu-lang	Air Tawar	0,5	Tipe I-V	280	300
	Air Payau	0,45	Tipe I+Pozzolan(15%-40%) atau semen Portland Pozzoland	340	380
		0,5	Tipe II atau Tipe V	290	330
	Air Laut	0,45	Tipe II atau Tipe V	330	370

2.2.9. Serapan Air

2.2.9.1 Serapan Air sebagai Salah Satu Faktor Durabilitas

Durabilitas beton adalah ketahanan beton terhadap proses-proses yang dapat merusak beton, yang terjadi akibat hasil interaksi dengan lingkungan (*eksternal*), atau antar material penyusun dengan bahan-bahan pencemar dalam beton atau pada permukaan beton (*internal*), (Jackson dan Dhir, 1996)

Durabilitas beton dipengaruhi oleh beberapa kondisi :

- a. Kondisi eksternal adalah kondisi yang disebabkan kerusakan karena pengaruh lingkungan luar. Kerusakan-kerusakannya antara lain :
 - 1) Kerusakan mekanikal : akibat adanya benturan, erosi, abrasi

2) Kerusakan *chemical* : akibat reaksi antara *silica* dan alkali, gerakan dari ion agresif, serangan sulfat, asam.

b. Kondisi internal adalah kondisi yang disebabkan kerusakan dari dalam beton itu sendiri. Kerusakan-kerusakannya antara lain :

Kerusakan *physic* : akibat adanya temperatur tinggi, akibat pertukaran kering dan basah, akibat masuknya air ke dalam beton.

Pengukuran durabilitas atau daya tahan beton terhadap kerusakan-kerusakan yang terjadi dapat dibuat melalui pengukuran dari sifat-sifat *permeation* yang didefinisikan sebagai kemudahan air untuk memasuki ataupun keluar dari beton yang berpori (Dhir, 1987).

Serapan (*absorption*) sebagai salah satu sifat dari *permeation* dapat didefinisikan sebagai proses dimana beton diletakkan dalam cairan misalnya air, atau dalam larutan encer dan dipengaruhi oleh adanya tindak kapiler.

Nilai dimana air dapat masuk atau menembus beton yang berpori disebut serapan air, dan biasanya dinyatakan dalam bentuk prosentase. Berdasarkan Tjokrodinuljo, 1996, serapan air pada beton dihitung dengan Persamaan 2.1.

$$\text{Serapan Air} = \frac{W - W_k}{W_k} \times 100\% , \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

W = Berat beton pada kondisi SSD (kering permukaan)

W_k = Berat beton pada kondisi kering oven

2.2.9.2 Hal-Hal Yang Mempengaruhi Besar Serapan Air

Menurut Edward J. Garboczi, 1995 (Arief Wibowo, 2004) terdapat dua teori yang dapat menerangkan hal-hal yang mempengaruhi besar serapan air, yaitu :

a. *Pore System* (Sistem Pori)

Adanya pori pada beton sangat berpengaruh besar pada besar serapan air beton itu, semakin banyak pori yang terdapat pada beton maka serapan airnya semakin besar, demikian pula berlaku sebaliknya.

Menurut Ollivier, 1995, pori pada beton dapat timbul diakibatkan oleh 3 hal, yaitu

1) Pori Agregat

Pori agregat adalah lubang atau rongga kecil dalam butiran agregat yang terjadi karena adanya udara yang terjebak (*air void*) dalam butiran agregat ketika pembentukannya / dekomposisi mineral pembentuk tertentu oleh perubahan cuaca. Dikarenakan agregat menempati sebanyak 60-70% volume beton, maka porositas agregat memberikan kontribusi yang cukup besar pada porositas beton (*Tjokrodinuljo, 1996*).

2) Pori Pasta Semen

Pori pasta semen adalah lubang atau rongga yang disebabkan oleh adanya gelembung-gelembung udara yang terbentuk selama atau sesudah pencetakan (*Tjokrodinuljo, 1996*). Gelembung udara ini timbul akibat pemakaian air yang berlebihan pada adukan, padahal jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi semen hanya berkisar 25% saja dari berat semennya, kelebihan air ini penting guna memperoleh campuran yang mudah dikerjakan, namun akibat kelebihan air pada adukan, air ini akan menggunakan ruangan yang apabila kering akan menguap (*water filled space*) dan akan menimbulkan rongga udara dalam pasta semen, atau dengan kelebihan air akan mengakibatkan pasta semen bepori lebih banyak (*Murdock and Brook, 1991*).

Pori yang disebabkan oleh gelembung udara yang terperangkap (*air void*) dan air yang menguap (*water filled space*) dan saling berhubungan dinamakan pori kapiler (*capillary porous*), (*Sutanto, 2003*).

3) Pori pada *Interface Zone* (Zona Transisi)

Karakteristik yang terlihat dari pori ini adalah :

- a) Mempunyai porositas kapiler yang tinggi
- b) Pada umumnya mempunyai pori kapiler yang berukuran besar

Pori pada interface zone ini dapat diakibatkan oleh beberapa hal, yaitu :

- a) Efek dari pengadukan yang tidak sempurna
- b) Tingkat pemadatan
- c) Karakteristik bleeding
- d) Pemberian bahan tambah (admixture)
- e) Interaksi kimia antar agregat dan pasta semen

(Ollivier, 1995)

b. *Connectivity* (Hubungan)

Hubungan antar pori juga menentukan besar serapan air, hal ini dapat dijelaskan berdasar *Tube Theory* (Teori Tabung), yaitu :

- 1) Tabung yang berdiameter lebih besar mempunyai kemampuan lebih tinggi dalam transport air, daripada tabung yang mempunyai ukuran diameter lebih kecil.
- 2) Tabung yang tertutup (*blocked*) tidak mempunyai kemampuan dalam transport air, atau nilainya nol.

(Gaboczi, 1995).

2.2.10. Penetrasi Beton

Nilai penetrasi pada beton ditentukan oleh besarnya nilai permeabilitas beton. Permeabilitas adalah sifat dapat dilewati/dimasuki zat atau gas. Jadi permeabilitas beton adalah kemudahan cairan atau gas melewati beton. Beton yang baik adalah beton yang relatif tidak bisa dilewati air/gas atau dengan kata lain mempunyai permeabilitas yang rendah. Menurut (Murdock 1979) beton tidak bisa kedap air secara sempurna.

Faktor air semen yang digunakan juga akan mempengaruhi besarnya koefisien permeabilitas. Makin tinggi faktor air semen akan menyebabkan nilai koefisien permeabilitas makin tinggi. Hal itu dapat dipahami karena makin banyak air tersisa yang tidak digunakan untuk proses hidrasi semen akan memberikan pori-pori yang besar sehingga beton akan porous dan sangat mudah dilalui air (permeabel), maka

pada pembuatan beton-beton yang mensyaratkan kedap air harus digunakan faktor air semen yang rendah sehingga koefisien permeabilitas akan rendah juga.

Faktor-faktor lain yang mempengaruhi besarnya permeabilitas beton adalah :

- a. Mutu dan porositas dari agregat yang digunakan dalam adukan beton.

Dalam hal ini jenis, sifat dan porositas agregat akan mempengaruhi permeabilitas beton yang mana penggunaan agregat yang porous akan meningkatkan permeabilitas.

- b. Umur beton.

Dengan bertambahnya umur beton maka permeabilitasnya akan menurun.

- c. Gradasi agregat dalam adukan beton.

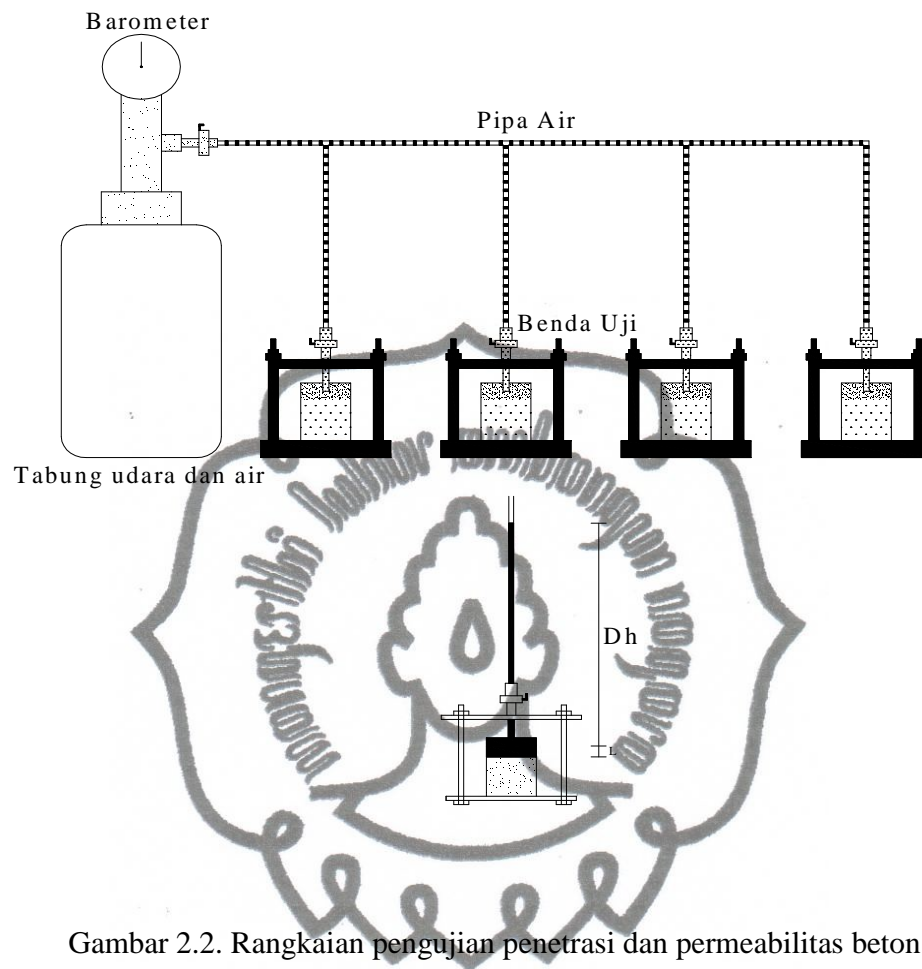
Pemakaian agregat dengan gradasi yang kasar serta terlalu banyak pasir akan menyebabkan workabilitas turun sehingga memerlukan tambahan air untuk kemudahan pengerjaan yang baik dan akan berdampak pada meningkatnya permeabilitas.

- d. Tingkat perawatan (*curing*) beton.

Perawatan beton yang baik akan sangat berpengaruh sekali terhadap tingkat permeabilitas beton, oleh sebab itu perlu membasahi beton selama beberapa hari setelah pengecoran.

Baik dalam ASTM maupun BS tidak mendeskripsikan secara rinci tentang uji permeabilitas, namun berdasarkan (*Murdock and Brook, 1987*) pengujian permeabilitas beton dapat diukur dari percobaan sampel beton yang di-*sealed* dan diberi air yang bertekanan pada sisi atas saja dan meliputi aspek banyaknya air yang mengalir lewat pada ketebalan beton pada waktu tertentu (seperti yang disyaratkan pada SK SNI S-36-1990-03 ayat 2.2.1).

Berikut adalah gambar rangkaian alat uji penetrasi yang digunakan, dapat dilihat pada Gambar 2.2 :



Gambar 2.2. Rangkaian pengujian penetrasi dan permeabilitas beton.

Permeabilitas beton dapat pula diekspresikan sebagai koefisien permeabilitas (k), yang dievaluasi berdasarkan hukum Darcy dengan Persamaan 2.2.

$$\left(\frac{1}{A_s}\right) \cdot \left(\frac{dQ}{dt}\right) = k \cdot \left(\frac{\Delta H}{L}\right) \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan:

$\frac{dQ}{dt}$ = kecepatan aliran air

A_s = luas penampang

Δh = tinggi air jatuh

L = ketebalan penetrasi air pada beton

K = koefisien permeabilitas

Nilai permeabilitas beton maksimum yang dianjurkan standar ACI 301-729 (revisi 1975) adalah sebesar $1,5 \times 10^{-11}$ m/dt ($4,8 \times 10^{-11}$ ft/dt).

2.2.11. Mekanisme Pengaliran

Masuknya gas, air atau ion dalam suatu larutan ke dalam beton berlangsung melalui pori-pori atau *micro-cracks* didalam campuran pasta semen. Variasi dari perbedaan fisik dan mekanisme kimia dapat membangun pengaliran media tersebut ke dalam beton, tergantung dari unsur yang mengalir dan konsentrasinya, kondisi lingkungan, struktur pori pada beton, jari-jari pori atau lebar dari *micro-cracks*, kelembaban dari sistem pori dan temperatur.

Penelitian mengenai karakteristik pengaliran pada beton diwujudkan dalam satu mekanisme pengaliran dalam rangka untuk mendapatkan koefisien pengaliran sesuai dengan dasar permodelan secara teoritis proses pengaliran. Prosedur ini bagaimanapun juga sangat terbatas sebab dalam beberapa kasus beton tidak sebagai suatu bentuk yang berpori seragam. Sebagai konsekuensinya struktur fisik beton dapat berubah, penyerapan kimia dapat terjadi dan berbagai macam mekanisme pengaliran dapat berlangsung selama proses percobaan. Sehingga penyederhanaan asumsi harus dilakukan dalam perhitungan dan prosedur test standar adalah wajib.

2.2.11.1. Mekanisme Masuknya Air ke Dalam Beton

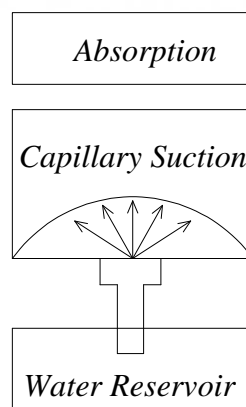
Masuknya gas, air atau ion dalam suatu larutan ke dalam beton berlangsung melalui pori-pori atau *micro-cracks* didalam campuran pasta semen. Variasi dari perbedaan fisik dan mekanisme kimia dapat membangun pengaliran media tersebut ke dalam beton, tergantung dari unsur yang mengalir dan konsentrasinya, kondisi lingkungan, struktur pori pada beton, jari-jari pori atau lebar dari *micro-cracks*, kelembaban dari sistem pori dan temperatur.

Penelitian mengenai karakteristik pengaliran pada beton diwujudkan dalam satu mekanisme pengaliran dalam rangka untuk mendapatkan koefisien pengaliran sesuai dengan dasar permodelan secara teoritis proses pengaliran. Prosedur ini bagaimanapun juga sangat terbatas sebab dalam beberapa kasus beton tidak sebagai suatu bentuk yang berpori seragam. Sebagai konsekuensinya struktur fisik beton dapat berubah, penyerapan kimia dapat terjadi dan berbagai macam mekanisme pengaliran dapat berlangsung selama proses percobaan. Oleh karena itu, penyederhanaan asumsi harus dilakukan dalam perhitungan dan prosedur test standar adalah wajib.

Ada 3 cara mekanisme transportasi air yang dapat beroperasi pada media semi-permeable seperti juga pada beton (Jackson dan Dhir, 1996), yaitu :

a. *Absorption* (penyerapan)

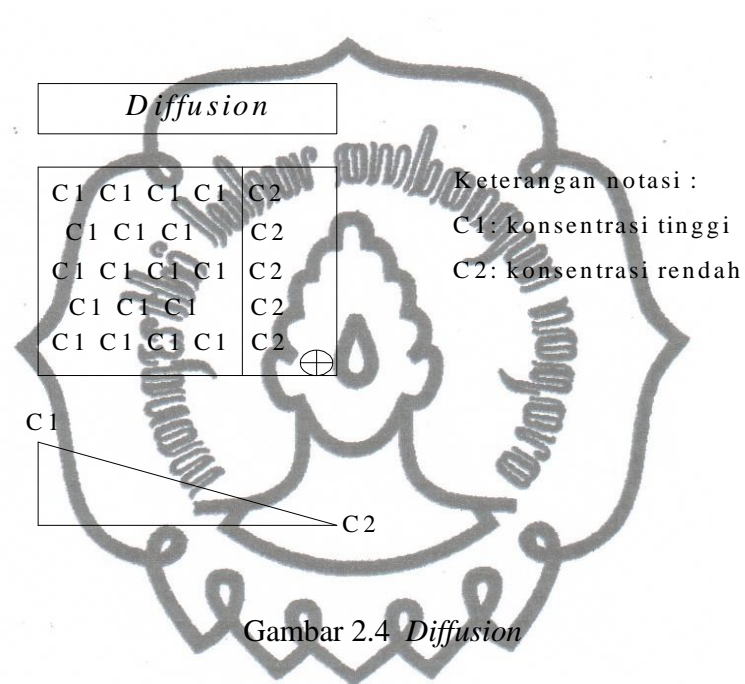
Terjadi dengan cara masuknya air melalui pipa kapiler atau pori-pori pada beton dan biasanya terjadi pada bangunan air. Aliran zat cair yang disebabkan oleh tegangan permukaan. Secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Absorption* (Penyerapan)

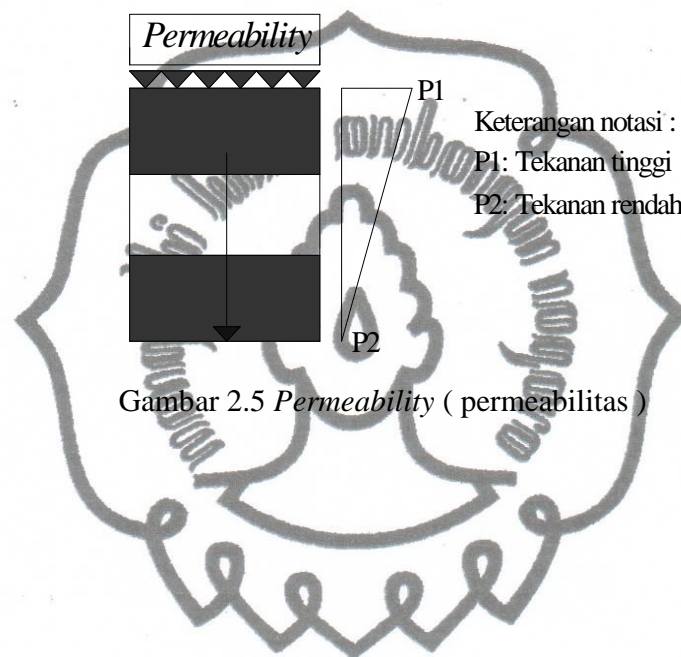
b. *Diffusion*

Terjadi akibat perbedaan konsentrasi baik cairan, gas maupun ion. Perbedaan konsentrasi atau molaritas bahan fluida membuat transport terjadi dari media konsentrasi tinggi ke media dengan konsentrasi rendah. Secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.4



c. *Permeability*

Terjadi akibat perbedaan tekanan, baik tekanan cairan maupun tekanan gas. Contohnya adalah pada bangunan yang selalu bersinggungan dengan tekanan air, tangki dan atau pipa bertekanan, bangunan penahan air, dam, bendungan atau bangunan di dalam air. Secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Permeability* (permeabilitas)

BAB 3

METODELOGI PENELITIAN

3.1. Umum

Agar tujuan dalam suatu penelitian dapat tercapai dengan baik, maka digunakan suatu metode penelitian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yaitu metode yang dilakukan dengan mengadakan suatu percobaan secara langsung untuk mendapatkan suatu data atau hasil yang menghubungkan antara variabel-variabel yang diselidiki. Pada penelitian ini eksperimen dilakukan di laboratorium Bahan dan Struktur, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta. Dalam penelitian ini terdapat beberapa variabel yang terdiri dari variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian adalah beton ringan dan variasi perawatan, sedangkan variabel terikat adalah serapan dan penetrasi beton. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian 72 sampel terhadap serapan dan penetrasi dengan intensitas waktu *curing* yaitu 14, 28, 42, dan 56 hari.

3.2. Benda Uji

Benda uji pada penelitian ini berupa silinder beton yang dicetak di dalam pipa PVC dengan diameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm untuk pengujian absorpsi dan penetrasi beton ringan pasca bakar.

Total benda uji yang digunakan adalah 72 buah yang terdiri dari 2 variasi campuran, 6 variasi perawatan dan setiap variasi perawatan terdiri dari 3 buah benda uji.

Untuk mempermudah benda uji diberi penamaan berdasarkan jenis campuran dan pengujian yang dilakukan. Penamaan benda uji dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan 3.2 :

Tabel 3.1. Benda uji untuk beton ringan.

Pengujian	Tanpa Pembakaran	Pembakaran 500 °C	Pembakaran 500 °C+Curing 14 Hari	Pembakaran 500 °C+Curing 28 Hari	Pembakaran 500 °C+Curing 42 Hari	Pembakaran 500 °C+Curing 56 Hari
Serapan	SRN-1	SRN-1	SRN-1	SRN-1	SRN-1	SRN-1
	SRN-2	SRN-2	SRN-2	SRN-2	SRN-2	SRN-2
	SRN-3	SRN-3	SRN-3	SRN-3	SRN-3	SRN-3
Penetrasi	PRN-1	PRN-1	PRN-1	PRN-1	PRN-1	PRN-1
	PRN-2	PRN-2	PRN-2	PRN-2	PRN-2	PRN-2
	PRN-3	PRN-3	PRN-3	PRN-3	PRN-3	PRN-3

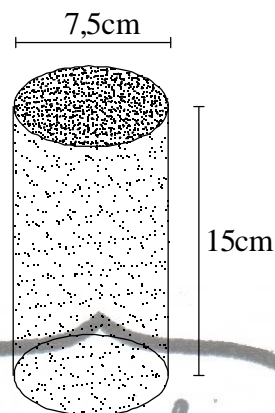
Tabel 3.2. Benda uji untuk beton ringan berserat alumunium dengan kadar 0,75%.

Pengujian	Tanpa Pembakaran	Pembakaran 500 °C	Pembakaran 500 °C+Curing 14 Hari	Pembakaran 500 °C+Curing 28 Hari	Pembakaran 500 °C+Curing 42 Hari	Pembakaran 500 °C+Curing 56 Hari
Serapan	SRNF-1	SRNF-1	SRNF-1	SRNF-1	SRNF-1	SRNF-1
	SRNF-2	SRNF-2	SRNF-2	SRNF-2	SRNF-2	SRNF-2
	SRNF-3	SRNF-3	SRNF-3	SRNF-3	SRNF-3	SRNF-3
Penetrasi	PRNF-1	PRNF-1	PRNF-1	PRNF-1	PRNF-1	PRNF-1
	PRNF-2	PRNF-2	PRNF-2	PRNF-2	PRNF-2	PRNF-2
	PRNF-3	PRNF-3	PRNF-3	PRNF-3	PRNF-3	PRNF-3

Keterangan :

- a. SRN : Beton ringan untuk uji serapan
- b. PRN : Beton ringan untuk uji penetrasi
- c. SRNF : Beton ringan berserat alumunium untuk uji serapan
- d. PRNF : Beton ringan berserat alumunium untuk uji penetrasi

Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm terbuat dari pipa PVC, dapat dilihat pada Gambar 3.1 :



Gambar 3.1. Benda uji absorpsi dan penetrasi beton.

3.3. Tahap dan Prosedur Penelitian

Karena sifat penelitian yang ilmiah, maka penelitian ini dilaksanakan dalam urutan dan sistematika yang jelas. Tahapan-tahap pelaksanaan penelitian direncanakan melalui beberapa tahapan kerja sebagai berikut :

a. Tahap I (Tahap Persiapan)

Pada tahap ini dilakukan studi literatur dan seluruh bahan serta peralatan yang akan digunakan dalam penelitian dipersiapkan terlebih dahulu agar penelitian dapat berjalan dengan lancar.

b. Tahap II (Tahap Pengujian Bahan)

Pada tahap ini dilakukan penelitian terhadap agregat halus dan agregat kasar yang akan digunakan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik bahan tersebut sehingga dapat diketahui apakah bahan yang digunakan memenuhi persyaratan atau tidak.

c. Tahap III (Tahap Pembuatan Benda Uji)

Pada tahap ini dilaksanakan pekerjaan sebagai berikut :

- 1) Perhitungan rencana campuran
- 2) Pembuatan adukan beton

3) Pemeriksaan nilai *slump*

4) Pembuatan beda uji

d. Tahap IV

Pada tahap ini benda-benda uji selanjutnya dirawat (*curing*) selama 7 hari direndam lalu diangin-anginkan selama 21 hari sampai beton berumur 28 hari.

e. Tahap V

Setelah umur 28 hari, sebagian dilakukan pengujian, sebagian diuji setelah dibakar pada suhu 500 °C. Sebagian sampel yang dibakar 500°C, diuji setelah dilakukan perawatan 14 hari, 28 hari, 42 hari dan 56 hari, dengan cara membasahi air. Cara pembasahan dengan menyelimuti karung goni dalam kondisi basah.

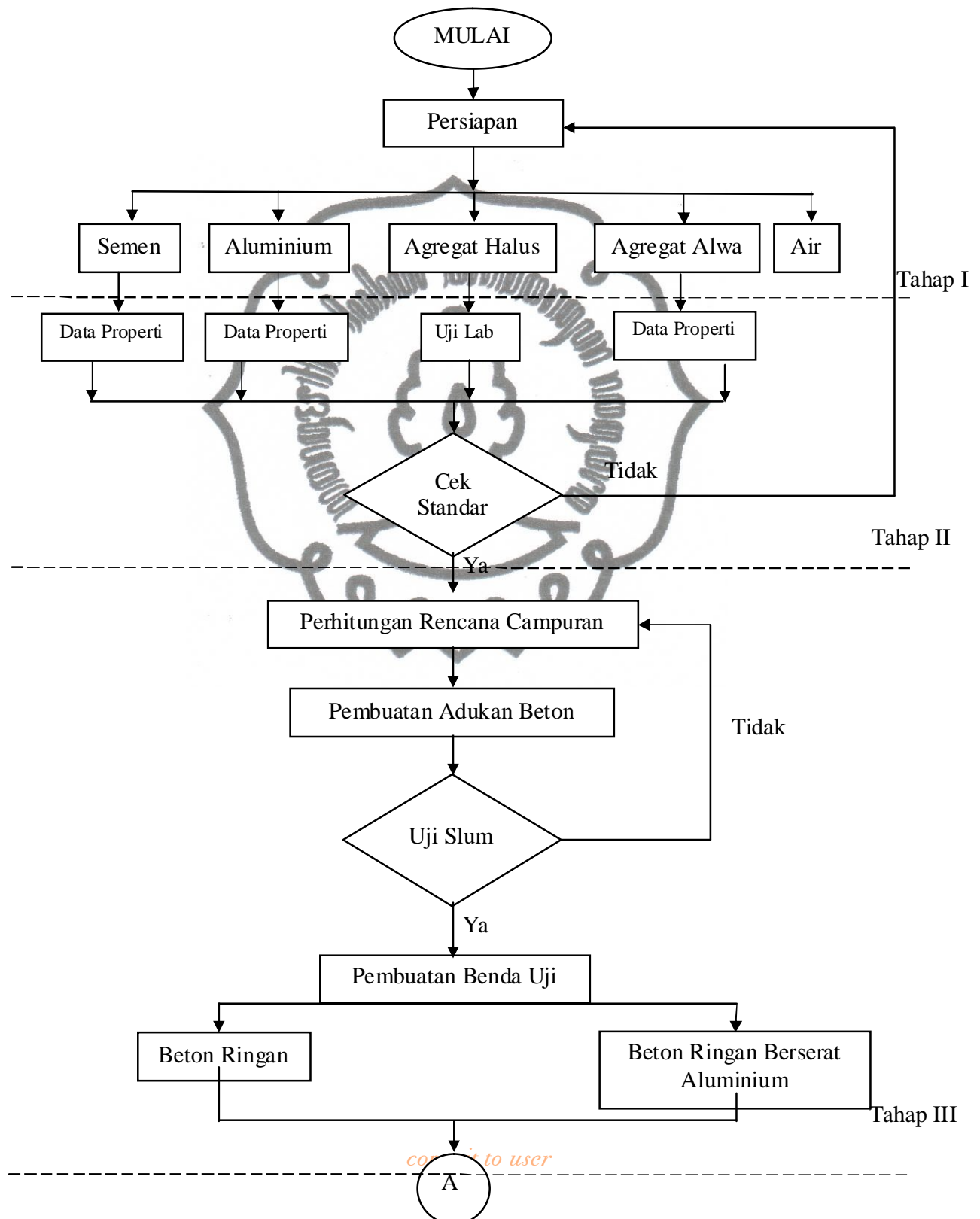
f. Tahap VI

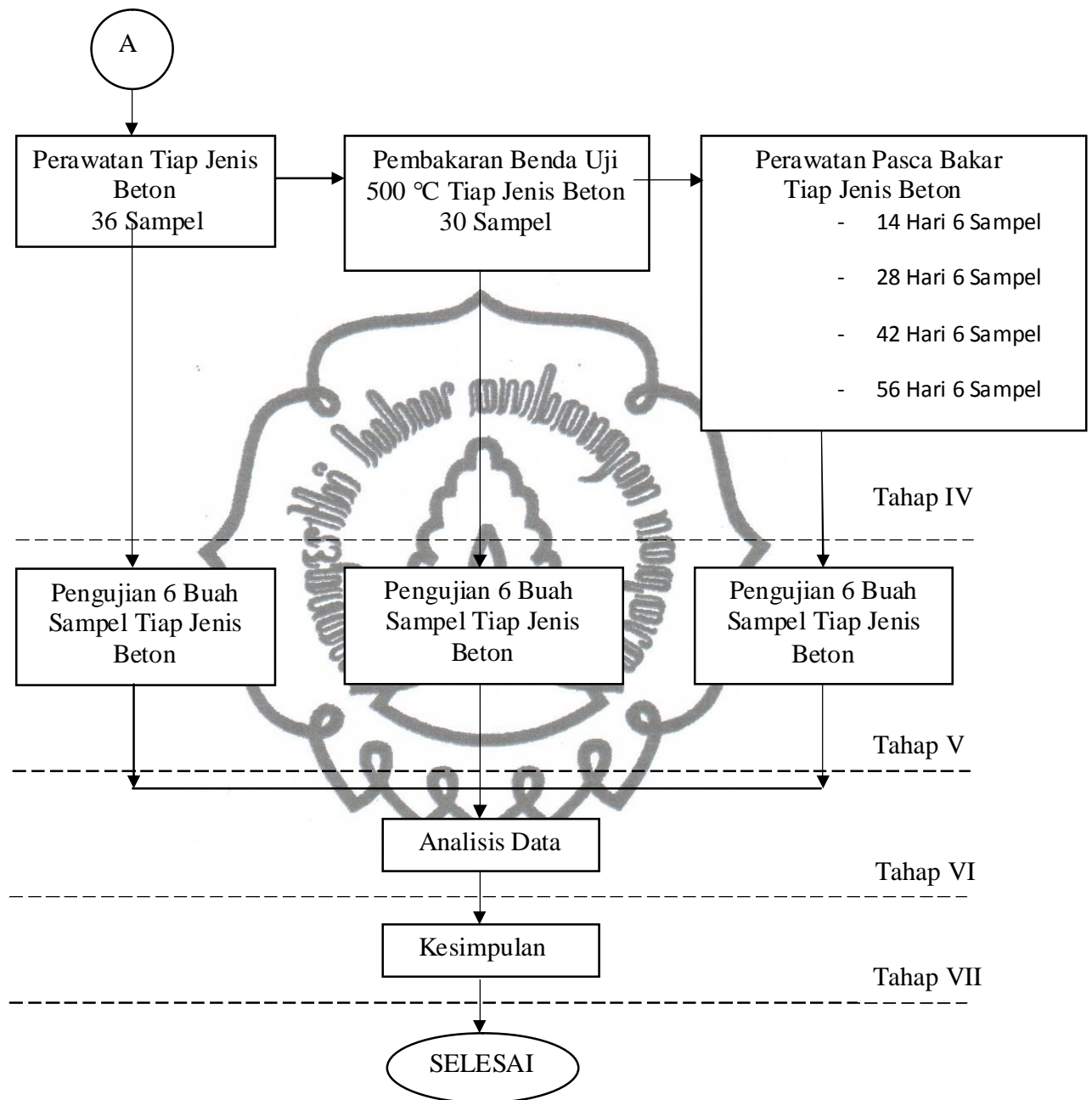
Pada tahap analisis data. Data yang diperoleh dari hasil pengujian lalu dianalisis untuk mendapatkan hubungan serapan dan penetrasi yang di teliti dalam penelitian.

g. Tahap VII

Pada tahap membuat kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian.

Tahapan penelitian secara skematis dalam bentuk bagan alir ditunjukkan dalam Gambar 3.2





Gambar 3.2 Bagan alir tahap-tahap penelitian

3.4. Standar Penelitian dan Spesifikasi Bahan Dasar

Pengujian terhadap bahan-bahan pembentuk beton perlu dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari bahan penyusun beton tersebut. Pengujian ini dilakukan terhadap agregat halus dan agregat kasar. Pengujian dilakukan dengan standar ASTM & SK SNI, sedangkan air yang digunakan dalam adukan beton sesuai dengan standar air dalam PBI 1971 pasal 3.6

3.4.1. Standar Pengujian Agregat Halus

Pengujian untuk agregat halus dilaksanakan berdasarkan standar ASTM dan disesuaikan dengan spesifikasi bahan menurut ASTM & PBI 1971. Standar pengujian terhadap agregat halus adalah sebagai berikut :

- a. ASTM C-40 : Standar penelitian untuk pengujian kandungan zat organik dalam agregat halus.
- b. ASTM C-117 : Standar penelitian untuk pengujian agregat yang lolos saringan no. 200 dengan pencucian (tes kandungan lumpur).
- c. ASTM C-128 : Standar penelitian untuk menentukan *specific gravity* dari agregat halus.
- d. ASTM C-136 : Standar penelitian untuk analisis saringan agregat halus.

Spesifikasi bahan untuk agregat halus adalah sebagai berikut :

- a. ASTM C-33 : Spesifikasi standar untuk agregat halus.
- b. PBI 1971 : Spesifikasi standar untuk agregat halus.

3.4.2. Standar Pengujian Agregat Kasar

Pengujian untuk agregat kasar dilaksanakan berdasarkan standar ASTM dan disesuaikan dengan spesifikasi bahan menurut ASTM & PBI 1971. Standar pengujian terhadap agregat kasar adalah sebagai berikut :

- a. ASTM C-127 : Standar penelitian untuk menentukan *specific gravity* dari agregat kasar.
- b. ASTM C-131 : Standar penelitian untuk pengujian keausan agregat kasar.
- c. ASTM C-136 : Standar penelitian untuk analisis saringan agregat kasar.

Spesifikasi bahan untuk agregat kasar adalah sebagai berikut :

- a. ASTM C-33 : Spesifikasi standar untuk agregat kasar.
- b. PBI 1971 : Spesifikasi standar untuk agregat kasar.

3.5. Standar Pengujian Serapan dan Penetrasi

- a. SK SNI S-36-1990-03 : Ketentuan minimum untuk beton kedap air normal bila diuji dengan perendaman dan tekanan air.

3.6. Alat-Alat yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan alat-alat yang tersedia di Laboratorium Bahan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini, antara lain :

- a. Ayakan dan mesin penggetar ayakan

Ayakan baja dan penggetar yang digunakan adalah merk "controls" Italy, dengan bentuk lubang ayakan bujur sangkar dengan ukuran lubang ayakan yang tersedia adalah 75 mm, 50 mm, 38.1 mm, 25 mm, 19 mm, 12.5 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.85 mm, 0.30 mm, 0.15 mm, dan pan.

- b. Timbangan

Ada dua timbangan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

- 1) Neraca merk "Murayama Seisakusho Ltd" Japan dengan kapasitas 5 kg, ketelitian sampai 0,10 gram dan digunakan untuk mengukur berat material yang berada dibawah kapasitasnya.

- 2) Timbangan "*Bascule Merk DSN Bola Dunia*" dengan kapasitas 150 kg dengan ketelitian 0,1 kilogram.
- c. Oven
- Untuk keperluan pengeringan agregat maupun benda uji digunakan oven listrik merk "*memmert*", *West Germany* dengan temperatur maksimum 220 °C dan daya listrik 1500 W.
- d. Mesin *Los Angeles*
- Mesin *los angeles* yang digunakan adalah merk "*controls*" *Italy* serta 11 buah baja, digunakan untuk menguji ketahanan aus (*abrasi*) agregat kasar.
- e. *Conical Mould*
- Conical mould* dengan ukuran sisi atas Ø 3,8 cm, sisi bawah Ø 8,9 cm dan tinggi 7,6 cm lengkap dengan penumbuknya. Digunakan untuk mengukur keadaan SSD (*Saturated Surface Dry*) dari agregat halus (pasir).
- f. Kerucut Abram
- Kerucut abram terbuat dari baja dengan diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm, dan tinggi 30 cm, digunakan untuk mengukur nilai *slump* adukan beton.
- g. Cetakan benda uji
- Digunakan untuk mencetak benda uji. Bentuk cetakan ini adalah silinder yang berupa pipa PVC dengan diameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm.
- h. Mesin aduk beton (molen) berkapasitas 0,25 m³ yang digunakan untuk mengaduk bahan-bahan pembentuk beton.
- i. Alat-alat bantu
- Untuk kelancaran dan kemudahan dalam penelitian digunakan beberapa alat bantu yaitu :
- 1) Gelas ukur 2000 ml untuk menakar air.
 - 2) Gelas ukur 250 ml untuk meneliti kandungan lumpur dan kandungan zat organik agregat halus.
 - 3) Cetok semen digunakan untuk mengambil material, mengaduk dan untuk memasukkan campuran adukan beton ke dalam cetakan beton.
 - 4) Besi penusuk berfungsi untuk pemadatan.

- 5) *Vibrator* untuk pemadatan campuran beton agar homogen.
- 6) Alat pencatat waktu.
- 7) Ember untuk tempat air.
- 8) Cangkul dan sekop untuk mengaduk bahan-bahan campuran beton agar merata.
- j. Satu set alat uji serapan (Absorpsi)
 - 1) Ember digunakan untuk merendam bahan uji.
 - 2) Timbangan digital untuk mengukur berat benda uji.
- k. Satu set alat uji penetrasi beton dan permeabilitas
 - 1) Air compressors untuk menghasilkan tekanan udara.
 - 2) Tabung gas yang dilengkapi dengan pengukur tekanan yang berfungsi untuk pengumpul tekanan udara.
 - 3) Selang tekanan untuk menyalurkan tekanan dari tabung ke benda uji.
 - 4) Katup pengatur tekanan untuk mengatur keluar masuknya tekanan dan sebagai penghubung selang ke benda uji maupun tabung gas.
 - 5) Selang transparan dipakai untuk mengukur penurunan aliran air.
 - 6) Tiang penyangga untuk menggantung selang transparan agar dapat tegak.

3.7. Pengujian Bahan Dasar Beton

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari material pembentuk beton. Pengujian dilakukan sesuai dengan standar yang ada. Dalam penelitian ini hanya dilakukan pengujian terhadap agregat halus. Sedangkan agregat kasar dan semen tidak dilakukan pengujian.

3.7.1. Pengujian Agregat Halus

a. Pengujian Kandungan Zat Organik Agregat Halus

Pasir sebagai agregat halus dalam campuran beton tidak boleh mengandung zat organik terlalu banyak karena akan mengakibatkan penurunan kekuatan beton yang

dihasilkan. Kandungan zat organik ini dapat dilihat dari percobaan warna dari Abrams Harder dengan menggunakan larutan NaOH 3% sesuai dengan persyaratan dalam Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBI NI-2, 1971). Berikut hubungan perubahan warna NaOH dengan prosentase kandungan zat organik dapat dilihat pada Tabel 3.4:

Tabel 3.3 Hubungan Perubahan Warna NaOH dengan Prosentase Kandungan Zat Organik

Warna campuran air + NaOH	Kandungan Zat Organik
Jernih	0 %
Kuning Muda	0 - 10%
Kuning Tua	10 - 20%
Kuning Kemerahan	20 - 30%
Coklat Kemerahan	30 - 50%
Coklat Tua	50 - 100%

Sumber : Prof. Ir. Rooseno

Pengujian kandungan zat organik agregat halus bertujuan untuk menentukan banyak sedikitnya kandungan zat organik dalam pasir.

- 1) Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:
 - a) Gelas ukur 250 cc
 - b) Oven
 - c) Ayakan 2 mm
 - d) Timbangan
 - e) Agregat halus (pasir) kering oven lolos ayakan 2 mm
 - f) Larutan NaOH 3 %
- 2) Langkah pengujian kandungan zat organik agregat halus dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :
 - a) Mengambil contoh pasir kering oven secukupnya.
 - b) Mengayak pasir dengan ayakan 2 mm hingga hasil ayakan mencapai 130cc.

- c) Memasukkan contoh pasir dalam gelas ukur 250 ml.
- d) Menuangkan NaOH 3% ke dalam gelas ukur sehingga mencapai 200 ml.
- e) Mengocok pasir dan larutan NaOH selama 10 menit.
- f) Meletakkan campuran tersebut pada tempat terlindung selama 24 jam.
- g) Mengamati warna air di atas pasir.
- h) Mencocokkan dengan tabel Prof. Rosseno.

b. Pengujian Kadar Lumpur dalam Agregat Halus

Agregat halus yang umum dipergunakan sebagai bahan dasar beton adalah pasir. Kualitas pasir sudah tentu akan mempengaruhi kualitas beton yang dihasilkan. Untuk itu maka pasir sudah tentu akan mempengaruhi kualitas beton yang dihasilkan. Untuk itu maka pasir yang akan digunakan harus memenuhi beberapa persyaratan, salah satunya adalah pasir harus bersih dari kandungan lumpur. Lumpur adalah bagian dari pasir yang lolos ayakan 0,036 mm. Apabila kadar lumpur yang ada lebih dari 5% dari berat keringnya, maka pasir harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai material penyusun beton.

Pengujian kadar lumpur dalam agregat halus bertujuan untuk mendeteksi kandungan lumpur dalam pasir sebagai salah satu komponen penyusun beton.

- 1) Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:
 - a) Gelas ukur 250 cc
 - b) Cawan Aluminium
 - c) Neraca dengan ketelitian 100 mg
 - d) Pipet
 - e) Oven
 - f) Agregat halus (pasir) kering oven lolos ayakan 2 mm
 - g) Air Bersih
- 2) Langkah pengujian kadar lumpur dalam agregat halus dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :
 - a) Menyiapkan sampel pasir dan mengeringkan dalam oven.

- b) Menimbang pasir kering oven seberat 100 gram.
 - c) Memasukkan pasir ke dalam gelas ukur
 - d) Melakukan proses pencucian sebagai berikut :
 - (1).Memasukkan air ke dalam gelas ukur yang telah berisi pasir dengan ketinggian 12 cm dari permukaan pasir.
 - (2).Menutup mulut gelas rapat-rapat dengan tangan.
 - (3).Gelas dikocok 10 kali (dianggap satu kali pencucian).
 - (4).Membuang air dalam gelas (usahakan pasir tidak ikut terbang).
 - (5).Proses pencucian diulang sampai bersih.
 - e) Menuangkan pasir ke dalam cawan (air yang ikut menetes diambil dengan pipet).
 - f) Mengeringkan pasir dalam cawan tersebut pada oven dengan suhu 110 °C.
 - g) Mengeluarkan pasir tersebut dari oven dan mendinginkannya hingga mencapai suhu kamar.
 - h) Menimbang pasir yang sudah dikeringkan.
 - i) Menganalisis data
- Berat awal pasir = a
- Berat akhir pasir = b

Kadar lumpur dapat dihitung dengan Persamaan 3.1 :

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{a - b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (3.1)$$

Membandingkan hasil perhitungan dengan persyaratan PBI NI-1971. Bila lebih dari 5% maka pasir harus dicuci kembali sebelum digunakan.

c. Pengujian *Specific Gravity* Agregat Halus

Berat jenis merupakan salah satu variabel yang sangat penting dalam merencanakan campuran adukan beton, karena dengan mengetahui variabel tersebut dapat dihitung volume pasir yang diperlukan.

Pengujian *specific gravity* agregat halus bertujuan untuk menentukan *bulk specific gravity*, *bulk specific gravity SSD*, *apparent specific gravity*, dan *absorption* agregat halus.

- 1) Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:
 - a) *Conical Mould* dan temper (pemadat)
 - b) Tabung *Volumetric Flash* 500 cc
 - c) Neraca/timbangan
 - d) Oven
 - e) Cawan
 - f) Pipet
 - g) Agregat halus lolos ayakan 2 mm
 - h) Air bersih
- 2) Langkah pengujian *specific gravity* agregat halus dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :
 - a) Membuat pasir dalam keadaan SSD dengan cara :
 - (1).Mengambil pasir yang telah disediakan (dianggap kondisi lapangan SSD), masukkan dalam *conical mould* sampai 1/3 tinggi.
 - (2).Menumbuk dengan tamper sebanyak 15 kali, tinggi jatuh temper 2 cm.
 - (3).Menambah pasir hingga 2/3 tinggi, lalu mengulangi prosedur b.
 - (4).Menambah pasir hingga penuh dan mengulangi lagi prosedur b.
 - (5).Memasukkan pasir hingga penuh lalu meratakan permukaan pasir.
 - (6).Mengangkat *conical mould* sehingga pasir dengan sendirinya akan merosot. Pemerosotan pasir tidak boleh lebih dari 1/2 tinggi dan apabila penurunan pasir mencapai 1/3 tinggi atau $\pm 2,5$ cm, maka pasir tersebut sudah dalam keadaan kering permukaan (SSD).
 - b) Mengambil pasir SSD sebanyak 500 gram, dimasukkan dalam *volumetric flash*, dan diisi air hingga penuh lalu didiamkan hingga 24 jam.
 - c) Setelah 24 jam, menimbang *volumetric flash* yang berisi pasir dan air tersebut.

- d) Mengeluarkan pasir dari *volumetric flash* dan memasukkan ke cawan dengan membuang air terlebih dahulu, jika dalam cawan masih ada air mengeluarkannya dengan menggunakan pipet.
- e) Memasukkan pasir dalam cawan ke dalam oven dengan suhu 1100 C selama 24 jam.
- f) *Volumetric flash* yang telah kosong dan bersih diisi air sampai penuh dan ditimbang.
- g) Pasir yang telah dioven didiamkan sampai mencapai suhu kamar kemudian menimbang pasir tersebut.
- h) Dari data yang diperoleh, dapat dihitung nilai *specific gravity* (berat jenis).

Berat pasir SSD = D

Berat pasir kering oven = A

Berat *volumetric flash* + air = B

Berat *volumetric flash* + air + pasir = C

Menganalisa hasil pengujian tersebut dengan Persamaan 3.2 – 3.5 :

$$\text{Bulk Specific Gravity} = \frac{A}{B + D - C} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$\text{Bulk Specific Gravity SSD} = \frac{D}{B + D - C} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\text{Apparent Specific Gravity} = \frac{A}{A + B - C} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\text{Absorption} = \frac{D - A}{D} \times 100\% \dots\dots\dots (3.5)$$

d. Pengujian Gradasi Agregat Halus

Gradasi adalah keseragaman diameter pasir sebagai agregat halus lebih diperhitungkan daripada agregat kasar, karena sangat menentukan sifat pengerjaan dan sifat kohesi campuran adukan beton.

Pengujian gradasi agregat halus bertujuan untuk memeriksa susunan atau variasi susunan agregat halus dan angka kehalusan agregat halus (pasir) tersebut.

- 1) Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:
 - a) Neraca/timbangan berkapasitas 5 kg, ketelitian 100 mg.
 - b) Satu set mesin getar.
 - c) Satu set ayakan dengan diameter :
 - (1). 9,50 mm
 - (2). 4.75 mm
 - (3). 2.36 mm
 - (4). 1.18 mm
 - (5). 0.85 mm
 - (6). 0.30 mm
 - (7). 0.15 mm
 - (8). 0 (pan)
 - d) Agregat halus (pasir) 3000 gr
- 2) Langkah pengujian gradasi agregat halus dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :
 - a) Menyiapkan agregat halus (pasir) sebanyak 3000 gr.
 - b) Menyiapkan satu set ayakan dan menyusun berurutan mulai dari pan (paling bawah), hingga ayakan 9,5 mm (paling atas), lalu susunan ayakan tersebut diletakkan pada mesin penggetar.
 - c) Menuangkan pasir ke dalam ayakan paling atas dan menutup rapat-rapat susunan ayakan tersebut.
 - d) Menghidupkan mesin penggetar selama 5 menit.
 - e) Setelah 5 menit matikan mesin, lalu menimbang dan mencatat berat agregat halus yang tertinggal pada masing-masing ayakan.
 - f) Menghitung modulus kehalusan dengan menggunakan Persamaan 3.6 :

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{d}{e} \dots\dots\dots (3.6)$$

dimana :

$d = \sum$ persentase komulatif berat pasir yang tertinggal selain dalam pan.

$e = \sum$ persentase berat pasir yang tertinggal

3.7.2. Pengujian Agregat Kasar

a. Pengujian *specific gravity* agregat kasar ALWA

Berat jenis merupakan salah satu variable yang sangat penting dalam merencanakan campuran adukan beton, karena variable tersebut dapat dihitung volume dari ALWA yang diperlukan. Pengujian *specific gravity* agregat kasar dalam penelitian ini menggunakan ALWA dengan diameter maksimal 10 mm.

1) Tujuan :

- a) *Bulk specific gravity*, yaitu perbandingan antara berat ALWA dalam kondisi kering dengan volume ALWA total.
- b) *Bulk specific gravity* dalam kondisi SSD, yaitu perbandingan dari berat ALWA jenuh dalam keadaan kering permukaan dengan volume ALWA total.
- c) *Apparent specific gravity*, yaitu perbandingan berat butiran kondisi kering dan selisih berat butiran dalam keadaan kering dengan berat dalam air.
- d) *Absorption*, yaitu perbandingan berat air yang diserap oleh ALWA jenuh dalam kondisi kering permukaan dengan berat ALWA kering.

2) Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:

- a) Oven listrik
- b) Neraca
- c) Bejana dan container
- d) ALWA
- e) Air bersih

3) Langkah Kerja :

- a) Mencuci ALWA lalu keringkan dalam oven pada suhu 110 °C selama 24 jam.
- b) Mengambil ALWA kering permukaan lalu timbang seberat 1500 gr dan diamkan hingga mencapai suhu kamar.

- c) Merendam ALWA dalam air selama 24 jam, lalu keringkan dengan kain lap agar permukaan ALWA kering, lalu menimbang ALWA tersebut (g).
- d) Memasang container pada neraca, lalu menuangkan air dalam bejana hingga container terendam seluruhnya dan mengatur posisinya agar neraca seimbang. Memasukkan ALWA ke dalam container hingga seluruhnya terendam air.
- e) Menimbang ALWA tersebut (h)
- f) Menganalisa hasil pengujian tersebut dengan Persamaan 3.7 – 3.10 :

$$\text{Bulk specific gravity} : \frac{f}{g-h} \dots\dots\dots (3.7)$$

$$\text{Bulk specific gravity SSD} : \frac{g}{g-h} \dots\dots\dots (3.8)$$

$$\text{Apparent specific gravity} : \frac{f}{f-h} \dots\dots\dots (3.9)$$

$$\text{Absorption} : \frac{g-h}{h} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.10)$$

b. Pengujian abrasi agregat kasar ALWA

Agregat kasar ALWA merupakan salah satu bahan dasar beton yang harus memenuhi standar tertentu untuk daya tahan keausan terhadap gesekan. Standar ini dapat diketahui dengan alat yang disebut Bejana *Los Angelos*. Agregat kasar harus tahan terhadap gaya aus dan bagian yang hilang karena gesekan tidak boleh lebih dari 50 %.

1) Tujuan :

Untuk mengetahui daya tahan agregat kasar ALWA terhadap gesekan.

2) Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:

- a) Bejana *Los Angelos* dan 11 bola baja.
- b) Neraca
- c) Saringan
- d) ALWA

3) Langkah Kerja :

- a) Mencuci ALWA dari kotoran dan debu yang melekat, lalu keringkan dalam oven pada suhu 110 °C selama 24 jam.
- b) Mengambil ALWA dari oven dan membiarkannya hingga suhu kamar kemudian mengayak dengan ayakan 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, dengan ketentuan : lolos ayakan 12,5 mm dan tertampung 9,5 mm sebanyak 2,5 kg. lolos ayakan 9,5 mm dan tertampung 4,75 mm sebanyak 2,5 kg.
- c) Memasukan agregat kasar ALWA yang sudah diayak sebanyak 5 kg ke mesin *Los Angelos* (i)
- d) Mencuci lubang mesin *Los Angelos* rapat-rapat lalu menghidupkan mesin dan mengatur perputaran mesin sampai 500 kali putaran.
- e) Mengeluarkan ALWA lalu disaring menggunakan saringan 2,36 mm (j).
- f) Menganalisa presentase berat agregat yang hilang dengan Persamaan 3.11:
- g) Presentase berat yang hilang = $\frac{i-j}{i} \times 100\%$ (3.11)

c. Pengujian gradasi agregat kasar ALWA

Agregat kasar dapat berupa kerikil kasar hasil disintegrasi alami berupa batu pecah (*split*) yang dipecah dengan alat pemecah batu. Agregat kasar yang digunakan untuk membuat beton ringan dalam penelitian ini adalah ALWA.

1) Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:

- a) Neraca/timbangan berkapasitas 5 kg, ketelitian 100 mg.
- b) Satu set mesin getar.
- c) Satu set ayakan dengan diameter :
 - (1). 9,50 mm
 - (2). 4.75 mm
 - (3). 2.36 mm
 - (4). 1.18 mm
 - (5). 0.85 mm
 - (6). 0.30 mm
 - (7). 0.15 mm

(8). 0 (pan)

d) ALWA kering oven.

2) Langkah pengujian gradasi agregat agregat halus dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

- a) Menyiapkan ALWA sebanyak 1500 gram.
- b) Menyiapkan satu set ayakan dan menyusun berurutan mulai dari pan (paling bawah), hingga ayakan 9,5 mm (paling atas), lalu susunan ayakan tersebut diletakkan pada mesin penggetar.
- c) Menuangkan pasir ke dalam ayakan paling atas dan menutup rapat-rapat susunan ayakan tersebut.
- d) Menghidupkan mesin penggetar selama 5 menit.
- e) Setelah 5 menit matikan mesin, lalu menimbang dan mencatat berat agregat halus yang tertinggal pada masing-masing ayakan.
- f) Menghitung modulus kehalusan dengan menggunakan Persamaan 3.12 :

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{d}{e} \dots\dots\dots (3.12)$$

dengan :

d = \sum persentase komulatif berat pasir yang tertinggal selain dalam pan.

e = \sum persentase berat pasir yang tertinggal

3.8. Perencanaan Campuran Beton

Dalam penelitian ini digunakan campuran adukan beton. Cara yang digunakan dalam perencanaan campuran adukan beton merupakan cara yang direkomendasikan oleh Dinas Pekerjaan Umum. Perhitungan perencanaan campuran beton disajikan dalam lampiran B.

3.9. Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut :

- a. Menyiapkan material (semen, metakaolin, agregat halus, agregat kasar, air dan serat aluminium) dan peralatan yang akan digunakan untuk campuran beton.
- b. Menyiapkan cetakan beton.
- c. Menimbang masing-masing material berdasarkan perhitungan mix design beton.
- d. Membuat adukan beton dengan cara manual, mengaduk material yang telah ditimbang menggunakan cangkul atau cetok semen dan serat aluminium disebar secara random.
- e. Memeriksa nilai slump dari adukan beton tersebut.
- f. Selanjutnya dilakukan pengecoran dengan menuangkan adukan beton ke dalam cetakan dan memberi tanda untuk masing-masing sampel.
- g. Kemudian dilakukan pemadatan. Setelah cetakan terisi penuh maka permukaan diratakan dan dibiarkan selama 24 jam.
- h. Merawat beton dengan cara merendamnya dalam air sampai waktu pengujian dan pembakaran.

3.10. Pengujian Nilai *Slump*

Slump beton adalah besaran kekentalan (viscosity) atau plastisitas dan kohesif beton segar. Menurut SK SNI M-12-1989-F, cara pengujian nilai slump adalah sebagai berikut :

- a. Membasahi cetakan dan pelat dengan kain basah
- b. Meletakkan cetakan diatas pelat dengan kokoh
- c. Mengisi cetakan sampai penuh dalam 3 lapisan dimana tiap lapisan berisi kira-kira $\frac{1}{3}$ isi cetakan, kemudian setiap lapis ditusuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 x tusukan

- d. Segera setelah selesai penusukan, ratakan permukaan benda uji dengan tongkat dan semua sisa benda uji yang ada di sekitar cetakan harus disingkirkan
- e. Mengangkat cetakan perlahan-lahan tegak lurus keatas
- f. Mengukur nilai *slump* yang terjadi

3.11. Perawatan Benda Uji

Perawatan beton adalah suatu pekerjaan menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab sejak adukan beton dipadatkan sampai beton dianggap cukup keras. Hal ini dimaksudkan untuk menjamin agar proses hidrasi dapat berlangsung dengan baik dan proses pengerasan terjadi dengan sempurna sehingga tidak terjadi retak-retak pada beton dan mutu beton dapat terjamin.

Perawatan ini dilakukan dengan cara merendam beton ke dalam bak selama 7 hari. Kemudian beton diangin-anginkan selama 21 hari atau sampai benda uji berumur 28 hari dan diadakan pengujian beton.

3.12. Pembakaran Benda Uji

Setelah benda uji mencapai umur 28 hari, sebagian besar benda uji dibakar dengan suhu 500°C. Pembakaran benda uji dilakukan di tungku pembakaran kerajinan keramik di desa Bayat, Klaten. Setelah itu sebagian benda uji yang dibakar suhu 500°C dilakukan *curing* tahap ke dua dengan cara benda uji diselimuti karung goni dengan variasi *curing* yaitu 14, 28, 42, dan 56 hari.

3.13. Pengujian Serapan Beton

Pengujian serapan beton menggunakan benda uji silinder diameter Ø 7,5 cm dan tinggi 15 cm. Pengujian absorpsi beton dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- a. Setelah mencapai umur 28 hari setelah reaksi hidrasi pada semen selesai sampel beton dikeringkan dengan oven sampai mencapai berat konstan.
- b. Setelah dikeluarkan dari oven, semua sampel beton ditimbang.
- c. Merendam sampel beton selama 10 + 0,5 menit, 30 menit, 60 menit, 24 jam, 2 x 24 jam dan 3 x 24 jam.
- d. Kemudian dibuat sampel dalam kondisi SSD, setelah itu menimbang masing-masing sampel selama batas waktu perendaman tersebut untuk membandingkan perbedaan antara berat kondisi SSD dengan berat kering oven.

3.14. Pengujian Penetrasi Beton

Berdasarkan *Neville dan Brooks (concrete technology, 1987)* uji penetrasi beton dapat diukur dari percobaan sampel beton yang di-*sealed* dari air yang bertekanan pada sisi atasnya saja dan meliputi aspek banyaknya air yang mengalir lewat ketebalan beton pada waktu tertentu.

Pengujian penetrasi beton menggunakan benda uji silinder diameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm.

Pengujian penetrasi beton dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- a. Setelah mencapai umur 28 hari, sampel beton dikeringkan dengan oven sampai mencapai berat konstan.
- b. Selang air bertekanan dipasang pada permukaan atas sampel dengan cara memberi lubang sebesar pipa selangnya. Pipa selang yang berisi air di-*sealed* diikat dengan klem pada atas permukaan beton.
- c. Sampel dikenakan air bertekanan 1 kg/cm² selama 48 jam, dilanjutkan air bertekanan 3 kg/cm² selama 24 jam dan air dengan tekanan 7 kg/cm² selama 24 jam. Dapat dilihat pada Tabel 3.5:

Tabel 3.4 Tekanan air dan waktu penekanan.

Tekanan Air (kg/cm ²)	Waktu (jam)
1	48
3	24
7	24

(Sumber : Suwandojo siddiq, makalah seminar ITB, 1987)

- d. Selang air bertekanan dilepas, kemudian dipasang selang transparan berisi air yang diletakkan pada penyangga, diamkan selama 1 jam untuk mengetahui penurunan air yang terjadi dan tingginya air jatuh.
- e. Kemudian sampel dibelah dan diukur kedalaman penetrasi air serta diameter sebaran air.

3.15. Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data adalah proses penyederhanaan data ke dalam bentuk yang lebih mudah dibaca dan diinterpretasikan. Dalam proses pengolahan data yang diperoleh dari hasil pengujian ini dipakai microsoft excell untuk menyajikan data menjadi informasi yang lebih sederhana, mudah dimengerti dan dipahami oleh setiap pembaca yang kemudian dilakukan pembahasan guna menarik kesimpulan.

Dalam penelitian ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai serapan dan penetrasi beton ringan berserat aluminium pada variasi perawatannya yang telah ditentukan, kemudian menganalisis perbedaan hasilnya. Menyimpulkan kecenderungan dari hasil nilai serapan dan penetrasi beton ringan berserat aluminium.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

- a. Dengan melakukan *curing* dapat memulihkan kekuatan beton, dimana pemulihan maksimum terjadi pada *curing* 56 hari. Untuk serapan air rendaman 10+0,5 menit sebesar : SRN 87,94% dan SRNF 87,95%. Untuk rendaman 1x24 jam sebesar : SRN 83,96% dan SRNF 96,08%. Untuk kedalaman penetrasi sebesar : PRN 93,74% dan PRNF 94,80%.
- b. Penambahan serat aluminium ke dalam campuran beton ringan, meningkatkan nilai serapan dan penetrasi, sehingga membuat kualitas beton menurun, tetapi masih memenuhi syarat nilai serapan dan penetrasi sebagai bahan kedap air. Untuk pembakaran suhu 500°C mengakibatkan terjadinya kerusakan yang membuat beton tidak memenuhi standar untuk beton kedap air.

5.1. Saran

Untuk menindaklanjuti penelitian ini kiranya perlu dilakukan beberapa koreksi agar penelitian-penelitian selanjutnya dapat lebih baik. Adapun saran-saran untuk penelitian selanjutnya antara lain :

- a. Perlu ditambah lama waktu *curing* atau variabel *curing* benda uji.
- b. Dalam pencampuran bahan-bahan beton harus diusahakan sampai homogen.