

**KAJIAN KOEFISIEN PERMEABILITAS BETON YANG
MENGALAMI AKUMULASI RETAK AKIBAT
PENINGKATAN PEMBEBANAN SECARA INCREMENTAL**

*(Study of Concrete Permeability Coefficient which is Accumulatively
Cracked because of the Incremental Load)*

SKRIPSI

Disusun Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana
pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret
Surakarta



Oleh :

RIRIN INDRIYANI

I 0101018

**FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2006**

LEMBAR PERSETUJUAN

**KAJIAN KOEFISIEN PERMEABILITAS BETON YANG
MENGALAMI AKUMULASI RETAK AKIBAT
PENINGKATAN PEMBEBANAN SECARA INCREMENTAL**

*(Study of Concrete Permeability Coefficient which is Accumulatively
Cracked because of the Incremental Load)*



Disusun Oleh

RIRIN INDRIYANI
I 0101018

Telah disetujui untuk dipertahankan dihadapan Tim Penguji Pendaratan
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta

Mengetahui Dosen Pembimbing

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Wibowo, ST, DEA
NIP.132 128 475

Ir. A. Mediyanto, MT
NIP. 132 134 684

LEMBAR PENGESAHAN

**KAJIAN KOEFISIEN PERMEABILITAS BETON YANG
MENGALAMI AKUMULASI RETAK AKIBAT
PENINGKATAN PEMBEBANAN SECARA INCREMENTAL**

*(Study of Concrete Permeability Coefficient which is Accumulatively
Cracked because of the Incremental Load)*

Disusun Oleh :

RIRIN INDRIYANI
I 0101018

Telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Pendaran
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
pada hari Kamis, 13 Juli 2006 :

1. Wibowo, ST, DEA (.....)
NIP.132 128 475

2. Ir. A. Mediyanto, MT (.....)
NIP. 132 134 684

3. Endah Safitri, ST, MT (.....)
NIP. 132 258 064

4. Ir. Supardi (.....)
NIP. 130 814 798

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

Disahkan,
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNS

Ir. Paryanto, MS
NIP. 131 569 244

Ir. Agus Supriyadi, MT
NIP. 131 792 199

MOTTO

Berdo'alah kepada-Ku,niscaya akan Kuperkenankan bagimu (Q.S.Al Mukmin:60)

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat (Q.S. Al Mujaadilah :11)

Pengetahuan adalah cinta, cahaya, dan visi (Hellen Keller)

Dari yang kita peroleh, kita dapat menghidupi diri kita, namun yang kita berikan dapat menciptakan kehidupan (Arthur Ashe)

PERSEMBAHAN

- ✓ Bapak dan ibu tercinta
- ✓ Dik Tintin dan dik Galih tersayang
 - ✓ Teman-temanku semua
- ✓ Para pembaca yang budiman

UCAPAN TERIMA KASIH

- Ø Allah SWT, tempat aku menyembah dan bersujud meminta pertolongan.
- Ø Bapak dan ibu tercinta, yang telah memberiku segalanya.
- Ø Adik-adikku, Tintin dan Galih, untuk semua keceriaan yang kalian berikan.
- Ø Sahabat sejawatiku : Emma, Erma, Rosdiana, Ana “Kalian slalu ada dalam suka dan dukaku”
- Ø Wiwin, Ida, Lita, Indah, Estik, Uut “Makasih telah memberi warna-warni dalam kehidupanku”
- Ø Yulia dan Dimas, “Makasih untuk semuanya”
- Ø Teman-teman seperjuangan : Aris, Foye, Aji’, Kencot “Apa jadinya aku tanpa kalian semua, thanks guys, cepet nyusul ya!”
- Ø Teman-teman Sipil 2001
- Ø Someone in somewhere, thanks for everything “Semoga yang kita perjuangkan ini tak akan pernah sia-sia”
- Ø Semua pihak yang banyak membantu demi terselesainya studi ini

ABSTRAK

Ririn Indriyani, Kajian Koefisien Permeabilitas Beton yang Mengalami Akumulasi Retak Akibat Peningkatan Pembebanan Secara Incremental. Skripsi S-1, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.

Salah satu masalah umum pada struktur beton khususnya untuk basement, dinding penahan tanah, tangki air, dan lain-lain umumnya berhubungan dengan permeabilitas. Permeabilitas ini dapat meningkat karena retak yang membentuk alur-alur kapiler dalam beton. Peningkatan permeabilitas karena retak menyebabkan lebih banyak air dan ion kimia agresif masuk kedalam beton, mengakibatkan korosi pada tulangan dan menurunkan kapasitasnya, akhirnya akan mengakibatkan keruntuhan strukturnya. Mengingat fakta di lapangan, suatu struktur pasti mengalami pembebanan pada masa layannya. Semakin meningkat beban yang dialami suatu struktur, maka retakan yang timbul juga bertambah baik jumlah, panjang, dan lebarnya. Penambahan retakan karena peningkatan beban inilah yang dapat meningkatkan koefisien permeabilitas beton. Pada struktur yang mensyaratkan untuk kedap air, permeabilitas adalah faktor utama yang mempengaruhi durabilitas struktur beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh manakah retakan pada beton akibat pembebanan akan mempengaruhi koefisien permeabilitasnya

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium. Pembebanan terhadap beton dilakukan secara incremental, kemudian sampel beton tersebut diuji permeabilitasnya. Benda uji yang digunakan berupa beton silinder dengan \emptyset 15 cm tebal 30 cm sebanyak 24 buah, yaitu 3 buah untuk uji kuat desak, 21 buah untuk uji permeabilitas yang telah mengalami retak karena pembebanan sebesar 0,1 f'c, 0,3 f'c, 0,4 f'c, 0,6 f'c, 0,7 f'c, 0,8 f'c, 0,9 f'c, masing-masing 3 buah.

Hasil penelitian dan analisa data menunjukkan bahwa pada pembebanan 0,1f'c-0,4f'c, belum banyak perubahan koefisien permeabilitas. Penambahan beban hanya berefek kecil terhadap peningkatan koefisien permeabilitas. Pada pembebanan sebesar 0,6f'c-0,7f'c, mulai terjadi peningkatan koefisien permeabilitas yang besar. Hal ini karena pada rentang beban ini retakan mulai meningkat jumlah, panjang, dan lebar. Pada pembebanan sebesar 0,8f'c-0,9f'c, koefisien permeabilitas meningkat sangat tajam. Tingginya koefisien permeabilitas pada rentang beban ini sangat riskan terjadi kebocoran dan korosi tulangan pada struktur beton selama masa layan. Sehingga pada struktur yang mensyaratkan untuk kedap air, jangan sampai terjadi beban sebesar 0,8f'c-0,9f'c untuk menjamin agar tidak terjadi terjadi kebocoran yang berbahaya.

Kata kunci : permeabilitas, retakan, pembebanan incremental.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat meraih gelar sarjana pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta, dengan judul “Kajian Koefisien Permeabilitas Beton yang Mengalami Akumulasi Retak Akibat peningkatan Pembebanan Secara Incremental.”

Pada pelaksanaannya, penulis telah banyak mendapatkan bantuan baik fasilitas, bimbingan maupun kerjasama dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Segenap Pimpinan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
2. Wibowo, ST, DEA, selaku Dosen Pembimbing I.
3. Ir. A. Mediyanto, MT, selaku Dosen Pembimbing II.
4. Ir. Koosdaryani, MT, selaku Dosen Pembimbing Akademik.
5. Tim penguji pada ujian pendadaran.
6. Rekan-rekan teknik sipil 2001.
7. Semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penyusunan skripsi ini.

Akhir kata penulis berharap agar laporan ini bermanfaat bagi pembaca.

Surakarta, Juni 2006

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1. 1. Latar Belakang	1
1. 2. Rumusan Masalah	2
1. 3. Batasan Masalah	2
1. 4. Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	4
2. 1. Tinjauan Pustaka	4
2. 2. Landasan Teori	5
2. 2. 1. Pengertian Beton	5
2. 2. 2. Bahan Penyusun Beton	5
2. 2. 2. 1. Semen Portland	5
2. 2. 2. 2. Agregat	6
2. 2. 2. 3. Air	9
2. 2. 3. Diagram Tegangan Regangan	10
2. 2. 4. Perubahan Bentuk Karena Pembebanan	11
2. 2. 5. Mekanisme Pengangkutan	12

2. 2. 6. Permeabilitas Beton	13
2. 2. 7. Teori Media Porus Elastis	14
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	17
3. 1. Metode Penelitian	17
3. 2. Tahapan Penelitian	17
3. 3. Benda Uji Penelitian	20
3. 4. Standar Penelitian dan Spesifikasi Bahan Dasar	20
3. 5. Alat-alat yang Digunakan	21
3. 6. Pengujian Permeabilitas	23
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	26
4. 1. Hasil Uji Material Pembentuk beton	26
4. 1. 1. Hasil Pengujian Agregat halus	26
4. 1. 2. Hasil Pengujian Agregat Kasar	27
4. 2. Hasil Perhitungan Rencana Campuran Beton	29
4. 3. Hasil Uji Sifat Material Beton	30
4. 4. Hasil Uji Permeabilitas	30
4. 5. Analisa Data	33
4. 5. 1. Analisa Terhadap Material Pembentuk Beton	33
4. 5. 1. 1. Analisa Terhadap Pengujian Agregat Halus	33
4. 5. 1. 2. Analisa Terhadap Pengujian Agregat Kasar	34
4. 5. 2. Analisa Terhadap Pengujian Permeabilitas	34
4. 5. 3. Analisa Regresi Hasil Pengujian Permeabilitas	35
4. 6. Pembahasan	36
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	37
5. 1. Kesimpulan	37
5. 2. Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	xiv
LAMPIRAN	xv

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Gradasi Agregat Halus	8
Tabel 2. 2 Gradasi Agregat Kasar	9
Tabel 3. 1 Standar Penelitian dan Spesifikasi Bahan Dasar Penyusun Beton	20
Tabel 3. 2 Tekanan Air pada Sampel Beton dan Waktu Penekanan	23
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Agregat Halus	26
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus	26
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Agregat Kasar	27
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar	28
Tabel 4. 5 Rencana Campuran Adukan Beton	29
Tabel 4. 6 Sifat Material Beton	30
Tabel 4. 7 Hasil Uji Permeabilitas	31
Tabel 4. 8 Hubungan Peningkatan Beban Terhadap Koefisien Permeabilitas	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Tegangan Regangan	10
Gambar 2. 2 Diagram Perubahan Bentuk Beton	11
Gambar 2. 3 Mekanisme Pengaliran pada Beton	12
Gambar 2. 4 Bagan Material pada Porositas yang Serupa	14
Gambar 2. 5 Interaksi Material Porus dengan Fluida	15
Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian	19
Gambar 3. 2 Skema Setup alat pada Pengujian Permeabilitas	24
Gambar 3. 3 Pengukuran Koefisien Permeabilitas	25
Gambar 3. 4 Beton Setelah Dibelah	25
Gambar 4. 1 Grafik Daerah Susunan Butir Agregat Halus	27
Gambar 4. 2 Grafik Daerah Susunan Butir Agregat Kasar	28
Gambar 4. 3 Hubungan antara Pembebanan dengan Koefisien Permeabilitas	33
Gambar 4. 4 Grafik Regresi Koefisien Permeabilitas dengan Beban	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Hasil Pengujian Agregat

Lampiran B Dokumentasi Penelitian

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

A	: Luas penampang sebaran air pada beton
D	: Indeks kerusakan
d	: Diameter sebaran air pada beton
$\frac{dQ}{dt}$: Kecepatan aliran air
E	: Modulus elastisitas
$f'c$: Kuat tekan beton
h_0	: Tinggi air mula-mula
h_1	: Tinggi air setelah 1 jam
k	: Koefisien permeabilitas
L	: Ketebalan penetrasi air pada beton
t	: Waktu
Δh	: Tinggi air jatuh
e	: Regangan
σ	: Tegangan
\emptyset	: Diameter

BAB 1

PENDAHULUAN

1. 1. Latar Belakang Masalah

Salah satu masalah umum pada struktur beton khususnya untuk basement, dinding penahan tanah, tangki air, dan lain-lain umumnya berhubungan dengan permeabilitas. Permeabilitas beton disebabkan oleh porositas agregat kasar dan porositas pasta semennya.

Permeabilitas ini dapat meningkat karena retak yang membentuk alur-alur kapiler dalam beton. Retakan pada beton merupakan variasi dari proses fisika dan kimia akibat pembebanan dan pengaruh cuaca. Peningkatan permeabilitas karena retak menyebabkan lebih banyak air dan ion kimia agresif masuk kedalam beton, mengakibatkan korosi pada tulangan dan menurunkan kapasitasnya, akhirnya akan mengakibatkan keruntuhan strukturnya.

Bila struktur beton digunakan sebagai penampung zat polutan dan limbah beracun, permeabilitas merupakan syarat terpenting untuk menjamin agar tidak terjadi rembesan yang berbahaya. Rembesan juga mengakibatkan hilangnya air pada tandon air minum dan mengganggu penggunaan ruang seperti yang direncanakan.

NISS, 1996 telah meneliti koefisien permeabilitas pada beton normal yang diretakkan. Penelitian tersebut mengamati hubungan antara variasi lebar retakan dengan koefisien permeabilitas. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa peningkatan koefisien permeabilitas beton sangat dipengaruhi oleh lebar retakan.

Mengingat fakta di lapangan, suatu struktur pasti mengalami pembebanan pada masa layannya. Semakin meningkat beban yang dialami suatu struktur, maka retakan yang timbul juga bertambah baik jumlah, panjang, dan lebarnya.

Penambahan retakan karena peningkatan beban inilah yang dapat meningkatkan koefisien permeabilitas beton. Pada struktur yang mensyaratkan untuk kedap air, permeabilitas adalah faktor utama yang mempengaruhi durabilitas struktur beton. Untuk itu, perlu adanya penelitian mengenai pengaruh adanya retak karena peningkatan beban terhadap koefisien permeabilitas beton.

1. 2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut, yakni sejauh manakah retakan pada beton akibat peningkatan pembebanan akan mempengaruhi permeabilitasnya.

1. 3. Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat berjalan secara sistematis, maka permasalahan yang ada perlu dibatasi dengan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Beton dalam penelitian ini adalah beton normal.
2. Semen yang digunakan adalah semen portland tipe 1.
3. Benda uji yang digunakan berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sebanyak 3 buah untuk uji kuat desak dan 21 buah untuk uji permeabilitas.
4. Pembebanan beton dan pengujian permeabilitas dilakukan setelah beton mencapai umur 28 hari.
5. Pembebanan pada beton sebesar 0,1 f'c, 0,3 f'c, 0,4 f'c, 0,6 f'c, 0,7 f'c, 0,8 f'c, 0,9 f'c

1. 4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan harapan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat teoritis, yaitu memberikan kontribusi bagi ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya permeabilitas beton.
2. Manfaat praktis, yaitu mengetahui pengaruh retak pada beton akibat pembebanan terhadap permeabilitasnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2. 1. Tinjauan Pustaka

Beton sangat banyak dipakai secara luas sebagai bahan bangunan. Bahan tersebut diperoleh dengan cara mencampurkan semen portland, air dan agregat (dan kadang-kadang bahan tambah) dengan perbandingan tertentu. Campuran tersebut bila dituang dalam cetakan kemudian dibiarkan akan mengeras seperti batuan, dengan rongga-rongga antara butiran yang besar (agregat kasar) diisi oleh butiran yang lebih kecil, (agregat halus) dan pori-pori antara agregat halus ini diisi oleh semen dan air (pasta semen). Pasta semen ini juga bersifat sebagai perekat dalam proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat saling terekat dengan kuat dan terbentuklah suatu masa yang kompak/padat. **(Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996)**

Beton yang didesain dan dibuat dengan baik aslinya adalah material yang kedap air, mengandung pori-pori yang tidak terhubung dan *micro cracks*. Ketika dibebani atau karena pengaruh cuaca, kerusakan beton adalah variasi dari proses fisika dan kimia, menghasilkan retakan. **(NISS, Technical Report Number 46, 1996)**

Micro cracks yang terjadi sepanjang ikatan antara pasta semen dan agregat disebut *bond cracks*, sedangkan yang membelah mortar diantara butiran agregat disebut *mortar cracks*. Ada 4 tahap pembentukan *micro cracks* sampai terjadi keruntuhan beton yang dibebani desakan:

1. Shrinkage pasta semen selama hidrasi dan pengeringan beton ditahan oleh agregat. Retakan ini memberikan efek yang kecil pada beban rendah.
2. Ketika beton dibebani antara 30% sampai 40% dari kuat tekannya, tegangan pada permukaan miring partikel agregat akan lebih besar dari pada kekuatan lentur dan kekuatan geser ikatan pasta semen-agregat, maka terbentuklah retakan baru yang disebut *bond cracks*.
3. Saat beban bertambah menjadi 50% sampai 60% dari kekuatan ultimate, *mortar cracks* berkembang diantara *bond cracks*. Retakan meningkat dengan peningkatan beban.
4. Pada beban 75% sampai 80% dari kekuatan ultimate, mortar craks makin bertambah. Akibatnya, hanya sedikit bagian yang tidak rusak untuk menahan beban dan tegangan. Pada tahap ini regangan meningkat makin cepat sampai terjadi keruntuhan beton.

(Mac Gregor, 1997)

Retakan pada beton saling menghubungkan jalur aliran dan meningkatkan permeabilitas, memudahkan air dan ion kimia agresif masuk ke dalam beton, menyebabkan kerusakan strukturnya. **(NISS, Technical Report Number 46, 1996)**

Lebar retakan yang terlihat relatif kecil sampai beban puncak, tetapi meningkat cepat, menyebabkan perubahan yang sangat besar pada permeabilitas. Pada tegangan yang rendah, permeabilitas beton mempunyai perubahan yang signifikan, dan meningkat drastis ketika beban makin mendekati kekuatan ultimate. **(Vincent Picandet, 2001)**

Dari hasil pengujian permeabilitas beton normal tanpa diretakkan yang telah dilakukan, didapatkan koefisien permeabilitas sebesar $2,74592 \times 10^{-9}$ m/dt. **(Spatika Nuresworo, 2005)**

2. 2. Landasan Teori

2. 2. 1. Pengertian Beton

Beton adalah campuran antara semen portland/semen hidraulis yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan membentuk masa padat. Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200 sampai 2500kg/m³, menggunakan agregat alami yang dipecah/tanpa dipecah yang tidak menggunakan bahan tambahan.

2. 2. 2. Bahan Penyusun Beton

2. 2. 2. 1. Semen Portland

Semen portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan. Suatu semen jika diaduk dengan air akan terbentuk pasta semen, sedangkan jika diaduk dengan air kemudian ditambah pasir menjadi mortar, dan jika ditambah lagi dengan kerikil/batu pecah disebut beton. Fungsi semen ialah untuk merekatkan butir-butir agregat agar suatu masa yang kompak/padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat.

Jenis semen sesuai tujuan pemakaiannya dibagi menjadi 5 jenis:

- a. Jenis I, semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus.
- b. Jenis II, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- c. Jenis III, semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.
- d. Jenis IV, semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.

- e. Jenis V, semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

2. 2. 2. 2. Agregat

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat menempati 70%-75% dari total volume beton, maka kualitas agregat akan sangat mempengaruhi kualitas beton. Agregat yang butirannya lebih besar dari 5 mm disebut agregat kasar, dan agregat yang butirannya lebih kecil dari 5 mm disebut agregat halus.

a. Agregat halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butiran sebesar 5 mm. Pasir yang digunakan dalam campuran adukan beton harus memenuhi syarat – syarat seperti tertera pada PBI 1971 Bab 3.3, yaitu :

1. Agregat halus terdiri dari butir – butir yang tajam dan keras. Butir – butiran agregat halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari atau hujan.
2. Agregat halus tidak boleh mengandung Lumpur lebih dari 5%. Lumpur adalah bagian yang dapat melalui saringan 0,063 mm. Bila kadar lumpur melampaui 5% maka agregat harus dicuci dahulu sebelum digunakan pada campuran.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung zat organik terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan warna Abrams-Harder (dengan larutan NaOH).
4. Agregat halus terdiri dari butir – butir beraneka ragam besarnya dan apabila diayak, harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :
 - a. Sisa diatas ayakan 4 mm, harus minimum 2% berat.
 - b. Sisa diatas ayakan 1 mm, harus minimum 10% berat.
 - c. Sisa diatas ayakan 0,25 mm, harus berkisar antara 80% dan 90% berat.
5. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk – petunjuk dari lembaga yang diakui.

Susunan besar butiran pada agregat halus juga harus memenuhi batas-batas seperti tertera pada Tabel 2. 1.

Tabel 2. 1. Gradasi Agregat Halus

Ayakan (mm)	Kumulatif Lolos (%)
9,5	100
4,75	95 - 100
2,36	80 -100
1,18	50 - 85
0,6	25 - 60
0,3	10 - 30
0,15	2 - 10

Sumber : ASTM C 33

b. Agregat kasar

Agregat kasar adalah kerikil hasil disintegrasikan alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butiran antara 5 sampai 40 mm. Agregat kasar yang akan dicampurkan sebagai adukan beton harus memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Adapun persyaratan mutu agregat kasar menurut PBI 1971 Bab 3. 4 adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir tersebut tidak melebihi dari 20% berat agregat seluruhnya. Butir-butir agregat kasar tersebut harus bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
2. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan dari berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lumpur melebihi 1% maka agregat harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton seperti zat reaktif alkali.
4. Keausan dari butir-butir agregat kasar diuji dengan mesin Los Angeles dengan syarat-syarat tertentu.

5. Agregat kasar terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya.
6. Besar butiran agregat maksimum tidak boleh lebih dari seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, sepertiga dari tebal plat, atau tigaperempat dari jarak bersih minimum antara batang-batang tulangan.

Agregat kasar juga harus memenuhi persyaratan gradasi agregat kasar yang ditentukan, seperti dalam Tabel 2. 2.

Tabel 2. 2. Gradasi Agregat Kasar

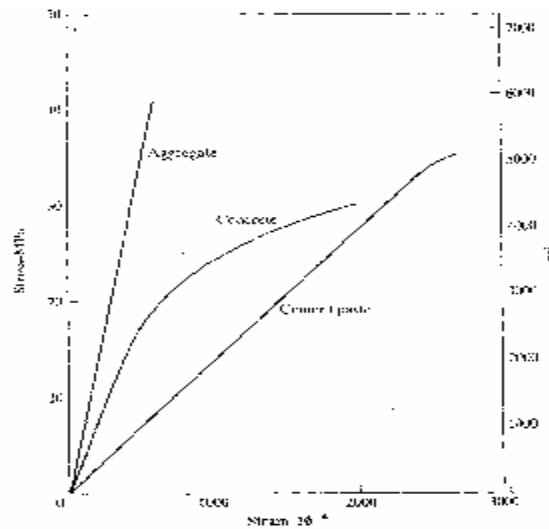
Ayakan (mm)	Kumulatif Lolos (%)
25	100
19	90 – 100
12,5	20 – 55
9,5	0 – 15
4,75	0 – 5
2,36	-
1,18	-
0,6	-
0,3	-
0,15	-

Sumber : ASTM C 33

2. 2. 2. 3. Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang dapat dipakai untuk bahan pencampur beton ialah air yang bila dipakai dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang memakai air suling.

2. 2. 3. Diagram Tegangan dan Regangan



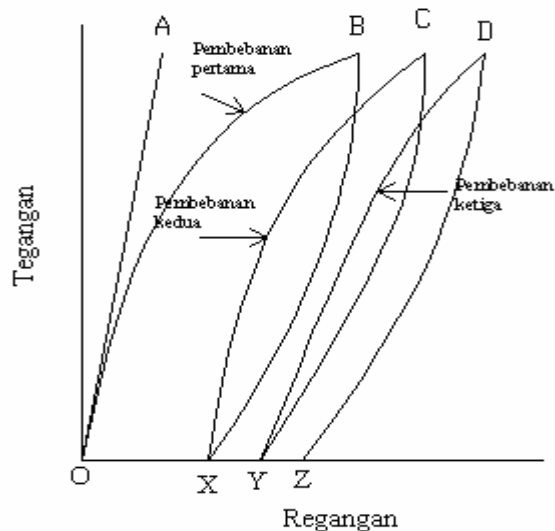
Sumber: Neville and J.J Brooks (1987)

Gambar 2.1. Diagram Tegangan Regangan

Diagram tersebut memperlihatkan bahwa hubungan tegangan dan regangan pada agregat dan pasta semen adalah linier. Sedangkan hubungan tegangan-regangan pada beton menjadi curvilinier pada teggangan yang tinggi. Hal ini dapat terjadi karena *bond cracks* halus ada pada permukaan antara agregat kasar dan pasta semen sebelum beban bekerja. *Micro cracks* ini terjadi karena perbedaan perubahan volume pasta semen dan agregat. Retakan ini masih stabil dan tidak bertambah pada tegangan dibawah 30% dari kuat tekan ultimate. Pada beban diatas 30% dari kekuatan ultimate, *micro cracks* mulai meningkat jumlah, panjang, dan lebar. Peningkatan retakan ini berarti pengurangan area efektif yang menahan beban, sehingga tegangan lokal lebih besar dari pada tegangan nominal pada total penampang lintang sampel beton. Hal ini berarti regangan bertambah lebih cepat dari pada tegangan nominal yang bekerja, sehingga kurva tegangan-regangan melengkung keatas. Ketika tegangan bertambah menjadi 70% dari kuat tekan ultimate, *mortar cracks* meningkat dan kurva makin melengkung keatas sampai tercapai kuat tekan ultimate, ini adalah puncak dari kurva tegangan-regangan.

2. 2. 4. Perubahan Bentuk Karena Pembebanan

Bila beton dibebani, perubahan bentuk terjadi dan bertambah sesuai dengan pertambahan beban, sebagai mana baja dan bahan-bahan lain. Pada baja terjadi perubahan bentuk secara elastis pada pembebanan di bawah batas elastis, sedemikian rupa sehingga benda uji kembali pada bentuk semula bila beban ditiadakan. Beton berubah bentuk sebagian mengikuti regangan elastis, sebagian mengalami regangan plastis. Hal ini ditunjukkan oleh gambar 2. 2. dimana diperlihatkan kurva tegangan regangan untuk pembebanan yang bertambah terus menerus. Hubungan yang elastis seperti pada baja ditunjukkan oleh garis OA, sedangkan untuk bahan yang sebagian plastis , seperti beton ditunjukkan oleh garis OB. Pada waktu beban ditiadakan, suatu benda uji beton telah ditekan sampai titik B, kemudian regangan elastis menghilang, tetapi regangan plastis tetap dan diperlihatkan oleh OX. Pengaruh beban yang diulang diperlihatkan juga dimana perubahan bentuk akibat regangan plastis XY, YZ, yang berkurang pada tiap pengulangan beban meskipun jumlah perubahan bentuk OX, OY, OZ terus bertambah.



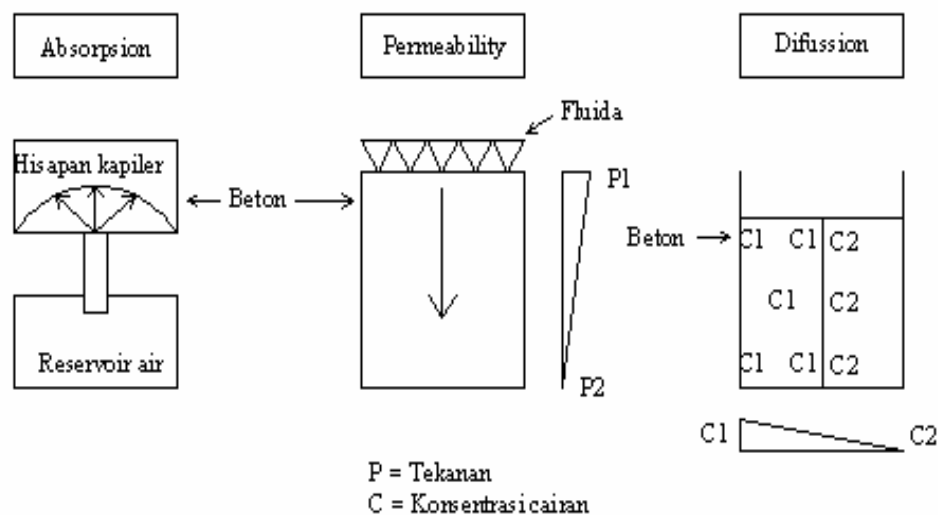
Sumber: L. J Murdock and K. M Brook (1991)

Gambar 2. 2. Diagram Perubahan Bentuk Beton

2. 2. 5. Mekanisme Pengangkutan

Masuknya gas, air atau ion dalam suatu larutan ke dalam beton berlangsung melalui pori-pori atau *micro cracks* di dalam 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, lebar *micro cracks*, kelembaban sistem pori dan temperatur.

Bentuk mekanisme pengaliran pada beton (Jackson dan Dhir, 1996) yaitu



Gambar 2.3. Mekanisme pengaliran pada beton

a. Absorption

Aliran zat cair yang disebabkan oleh tegangan permukaan. Aliran zat cair dipengaruhi oleh karakteristik zat cair berupa *viscosity* (kekentalan), *density* (massa jenis), *surface tension* (tegangan permukaan) dan karakteristik zat padat berupa struktur pori (jari-jari dan pori-pori kapiler) dan *surface energy*.

b. Permeability

Aliran zat cair atau gas yang disebabkan oleh tekanan. Permeabilitas tergantung pada struktur pori dari zat padat dan viscositas zat cair, aliran kapiler bisa berupa laminar atau turbulen.

c. *Difussion*

Perpindahan massa berupa ion atau molekul bebas yang bergerak secara acak di dalam pori-pori yang menghasilkan aliran dari daerah berkonsentrasi padat ke daerah berkonsentrasi rendah

2. 2. 6. Permeabilitas Beton

Permeabilitas beton adalah kemudahan cairan atau gas melewati beton. Baik dalam ASTM maupun BSI tidak terdapat deskripsi tentang uji permeabilitas secara rinci, namun berdasarkan Neville dan Brooks (*Concrete Technology*, 1987), uji permeabilitas 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 pada ketebalan beton pada waktu tertentu.

Permeabilitas beton dapat pula diekspresikan sebagai koefisien permeabilitas (k) yang dievaluasi berdasarkan hukum Darcy sebagai berikut:

$$(1/A) (dQ/dt) = k (\Delta h/L)$$

dengan:

dQ/dt = kecepatan aliran air

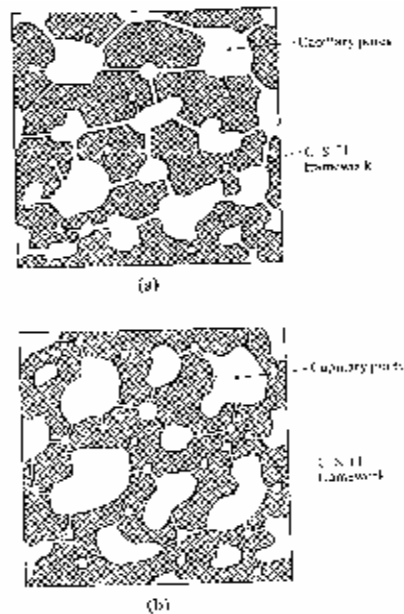
A = luas penampang sebaran air pada beton

Δh = tinggi air jatuh

L = ketebalan penetrasi beton

k = koefisien permeabilitas

Untuk beton yang menggunakan agregat normal, permeabilitas ditentukan oleh porositas pasta semen tetapi hubungan suatu faktor distribusi ukuran pori bukanlah fungsi yang sederhana. Permeabilitas bukan hanya ditentukan oleh porositasnya saja, tetapi juga oleh kapiler yang saling menghubungkannya. Kapiler tersebut dapat bertambah karena retakan yang ditimbulkan oleh pembebanan. Kapiler yang terbagi dalam ruas-ruas berpengaruh besar terhadap permeabilitas, secara nyata menggambarkan bahwa permeabilitas adalah fungsi dari porositas yang tidak sederhana. Ada kemungkinan pada dua benda yang porous memiliki kesamaan porositas tetapi berbeda permeabilitasnya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4.



Sumber : Neville (1987)

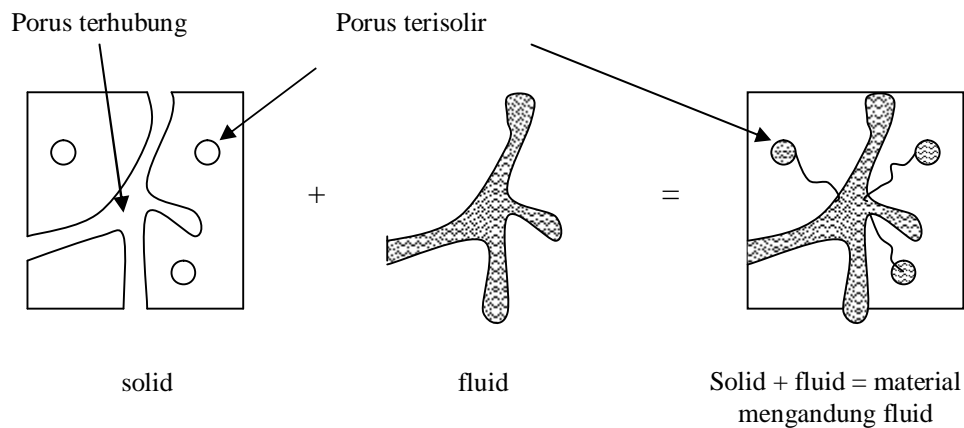
Gambar 2.4. Bagan material pada porositas yang serupa

- (a) permeabilitas tinggi, pori-pori kapiler terhubung oleh lintasan besar
- (b) permeabilitas rendah, pori-pori kapiler terbagi dalam ruas-ruas dan hanya terhubung sebagian.

2. 2. 7. Teori Media Porus Elastis

1. Perilaku Bahan Porus Elastis pada saat kehadiran fluida dalam strukturnya

Pada kasus dimana material porus berinteraksi fluida maka struktur bahannya akan merupakan superposisi dari dua media kontinyu yaitu bagian solid dan bagian fluid yang diwadahi oleh porusnya. (*Barry 1996*)



Gambar 2. 5. Interaksi Material Porus dengan Fluida

Kehadiran fluid pada saat material beton mengalami pembebanan (terutama beban berulang : loading-unloading) akan memberi tanda terjadinya pertumbuhan retak yang menghubungkan porus yang terisolir sehingga pada akhirnya memperbesar jaringan porositas terhubung yang mempengaruhi besarnya permeabilitas dan serapan beton. Bertambah besarnya permeabilitas dan serapan beton mengindikasikan kehadiran retak dan fenomena ini dapat memunculkan metode untuk memprediksi kerusakan material.

Dengan pengukuran yang teliti variable-variabel yang mempengaruhi kerusakan media kontinum (dalam hal ini beton) akan dapat dicari hubungannya dengan permeabilitas beton.

2. Kerusakan Pada Beton

Kerusakan material beton didefinisikan sebagai perubahan tingkat degradasi structure dalam material beton. Kerusakan ini dalam mekanika bahan diberikan nilai yang sering disebut sebagai indeks kerusakan (D). Hukum perilaku bahan isotrope unidimensinal memberikan formulasi sebagai berikut (*Montheillet 1986*) :

$$e_e = \frac{s}{E(1-D)}$$

$E(1-D)$ menunjukkan perbandingan antara tegangan dan regangan, bila bahan dalam kondisi belum rusak (asli) maka $D = 0$ artinya belum ada perubahan kekuatannya, sebaliknya bahan yang telah mengalami kerusakan maka $D > 0$ dan harganya akan bervariasi sesuai dengan tingkat (besar) kerusakannya.

Rumus tersebut bisa diuraikan menjadi hubungan antara indeks kerusakan (D) dengan nilai modulus Elastisitas (E) sebagai berikut:

$$E = (1 - D)E_0$$

Sehingga dengan mengetahui perubahan modulus elastisitas riil bahan yang mengalami kerusakan maka kita akan dengan mudah menentukan indeks kerusakannya.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3. 1. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan 24 sampel beton normal dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, 3 sampel untuk uji kuat tekan, dan 21 sampel untuk uji permeabilitas yang sebelumnya telah dibebani sebesar 0,1 f'c, 0,3 f'c, 0,4 f'c, 0,6 f'c, 0,7 f'c, 0,8 f'c, 0,9 f'c, masing-masing 3 sampel. Pengujian kuat desak dan koefisien permeabilitas dilakukan setelah beton berumur 28 hari dan dioven selama 24 jam.

Untuk uji permeabilitas, beton kering oven diberi tekanan air sebesar 1 kg/cm² selama 48 jam, 3 kg/cm² selama 24 jam dan 7 kg/cm² selama 24 jam. Data yang dihasilkan berupa nilai penetrasi air, diameter sebaran air dalam beton, besar penurunan air selama 1 jam, dan tinggi air jatuh.

Data yang telah dihasilkan tersebut kemudian dianalisis untuk mendapatkan nilai koefisien permeabilitas (k). Kemudian dibuat grafik hubungan nilai tersebut terhadap peningkatan pembebanan, serta dibuat analisa regresi untuk mengetahui angka korelasi antara variabel-variabel yang ada.

3. 2. Tahapan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dibagi dalam beberapa tahap, yaitu:

1. Tahap I (Tahap Persiapan)

Pada tahap ini seluruh bahan dan peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian dipersiapkan terlebih dahulu agar penelitian dapat berjalan dengan lancar.

2. Tahap II (Tahap Uji Bahan)

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap material pembentuk beton. Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik bahan. Selain itu untuk

mengetahui apakah bahan-bahan tersebut memenuhi persyaratan yang telah ditentukan.

3. Tahap III (Tahap Pembuatan Benda Uji)

Pada tahap ini dilakukan pekerjaan sebagai berikut:

- a. Penetapan rancang campur adukan beton.
- b. Pembuatan adukan beton.
- c. Pemeriksaan nilai slump.
- d. Pembuatan benda uji.

4. Tahap IV (Tahap Perawatan)

Pada tahap ini dilakukan perawatan terhadap benda uji yang telah dibuat pada tahap III. Perawatan ini dilakukan dengan cara merendam benda uji pada hari kedua selama 7 hari, kemudian dikeluarkan dari air dan ditutup dengan karung goni yang setiap hari disiram air. Perawatan ini dilakukan sampai benda uji berumur 21 hari. Kemudian beton diangin-anginkan hingga waktu dilakukan pengujian yaitu pada umur 28 hari.

5. Tahap V (Tahap Pengujian)

Pada tahap ini dilakukan pengujian kuat tekan beton untuk mengetahui f'_c , setelah itu dilakukan pembebanan terhadap benda uji sebesar $0,1 f'_c$, $0,3 f'_c$, $0,4 f'_c$, $0,6 f'_c$, $0,7 f'_c$, $0,8 f'_c$, $0,9 f'_c$. Kemudian dilakukan uji permeabilitas terhadap benda uji yang telah dibebani tersebut.

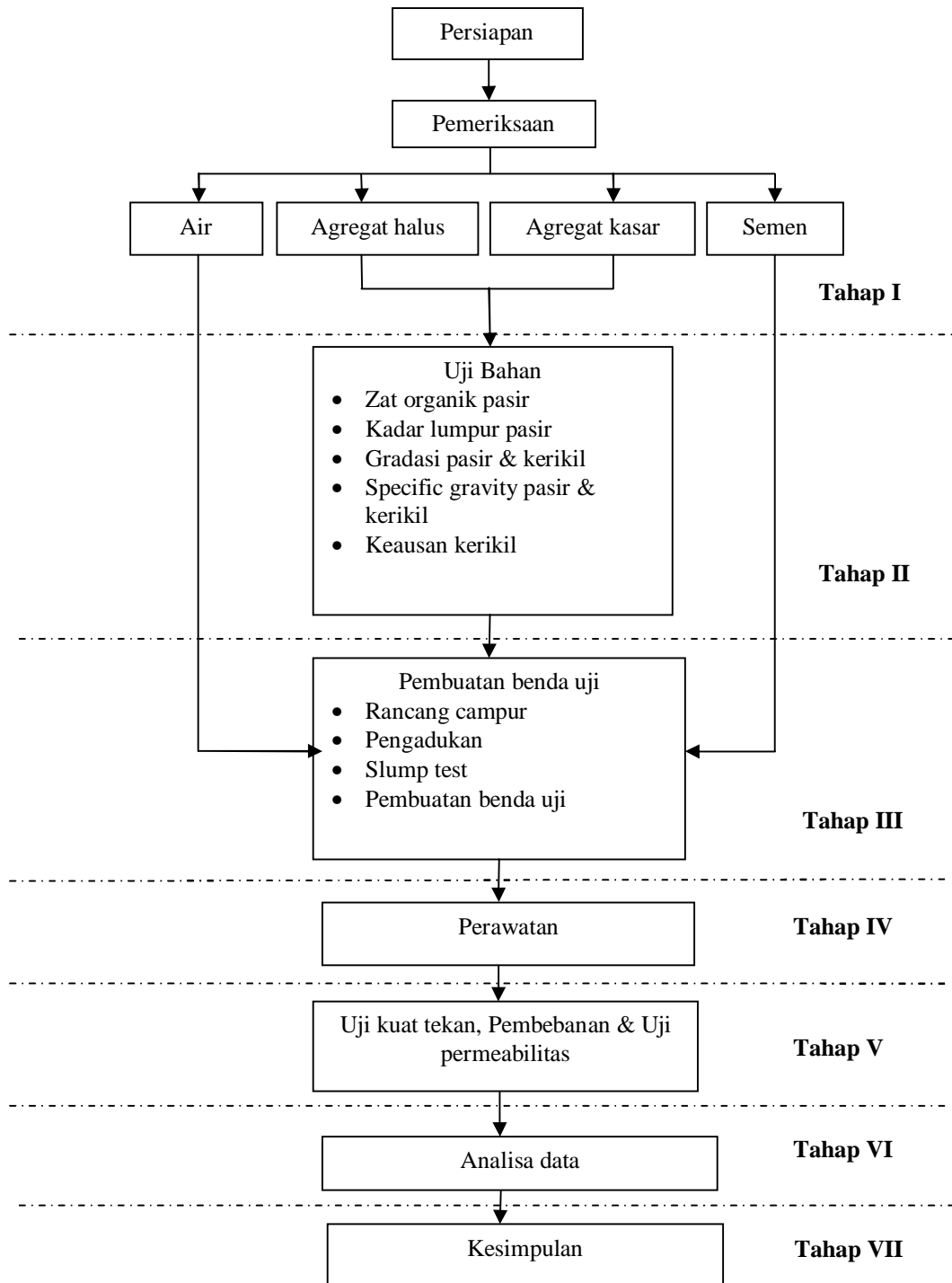
6. Tahap VI (Tahap Analisis Data)

Pada tahap ini, data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisis untuk mendapatkan hubungan antara variabel-variabel yang diteliti.

7. Tahap VII (Tahap Pengambilan Kesimpulan)

Pada tahap ini, dibuat suatu kesimpulan berdasarkan data yang telah dianalisa yang berhubungan dengan tujuan penelitian.

Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat dalam diagram alir gambar 3. 1.



Gambar 3. 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

3. 3. Benda Uji Penelitian

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa beton silinder dengan Ø 15 cm tebal 30 cm sebanyak 24 buah, yaitu 3 buah untuk uji kuat desak, 21 buah untuk uji permeabilitas yang telah mengalami retak karena pembebanan sebesar 0,1 f'c, 0,3 f'c, 0,4 f'c, 0,6 f'c, 0,7 f'c, 0,8 f'c, 0,9 f'c, masing-masing 3 buah.

3. 4. Standar Penelitian dan Spesifikasi Bahan Dasar

Standar penelitian yang digunakan sebagai dasar pengujian bahan penyusun beton dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1. Standar Penelitian dan Spesifikasi Bahan Dasar Penyusun Beton

No.	Bahan penelitian	Standar terpakai
1	Semen	Spesifikasi pabrik
2	Agregat halus a. Standar pengujian b. Spesifikasi	 1.ASTM C-40, standar penelitian untuk pengujian kotoran organik 2. ASTM C-117, standar penelitian untuk pengujian agregat yang lolos saringan no. 200 dengan pencucian (tes kandungan lumpur) 3. ASTM C-128, standar penelitian untuk menentukan <i>specific gravity</i> 4. ASTM C-136, standar penelitian untuk analisis saringan. 1. ASTM C-33, spesifikasi standar untuk agregat halus. 2. PBI 1971, spesifikasi standar untuk agregat halus (bab 3.3).

3.	Agregat kasar a. Standar pengujian b. Spesifikasi	1. ASTM C-127, standar penelitian untuk pengujian <i>specific gravity</i> . 2. ASTM C-131, standar penelitian untuk pengujian keausan. 3. ASTM C-136, standar penelitian untuk analisis ayakan. 4. ASTM C-566, standar penelitian untuk pengujian kadar air. 1. ASTM C-33, spesifikasi standar untuk agregat kasar. 2. PBI-1971, spesifikasi standar untuk agregat kasar (bab 3.4).
4.	Air	Spesifikasi standar PBI 1971

3. 5. Alat-alat yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan alat-alat yang tersedia di Laboratorium Bahan dan Struktur, Jurusan Teknik Sipil,. Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Alat-alat yang digunakan yaitu :

1. Alat uji kuat desak beton
Alat ini digunakan untuk membuat retakan pada beton dengan cara memberikan beban pada benda uji.
2. Timbangan
 - a. Neraca merk Murayama Seisakusho Ltd Japan, kapasitas 5 kg.
 - b. Timbangan Bascule merk DSN Bola dunia kapasitas 150 kg.
3. Oven
Oven merk Memmenrt West berkapasitas 2200 °C, 1500 W.

4. Molen
Molen yang digunakan berkapasitas 120 liter dan bertenaga dinamo listrik sebesar 1500 rpm.
5. Corong / Kerucut Abrams
Kerucut Abrams dari baja dengan diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm, tinggi 30 cm, lengkap dengan tongkat baja yang ujungnya ditumpulkan, panjang 60 cm, diameter 16mm. Alat ini digunakan untuk mengukur nilai slump adukan beton.
6. Cetakan Beton
Cetakan ini digunakan untuk mencetak benda uji. Cetakan ini adalah sebuah silinder besi dengan diameter 15 cm, tebal 30 cm.
7. Ayakan dan mesin penggetar ayakan
Merk Controls, Italy bentuk lubang segi empat, ukuran yang tersedia adalah 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, 0.3 mm, 0.15 mm , pan.
8. Conical mould diameter atas 3.8 cm, diameter bawah 8.9 cm, tinggi 7.6 cm dan penumbuk. Digunakan untuk mengukur SSD pasir.
9. Mesin Los Angeles.
Merk Controls, Italy dengan 11 bola baja, digunakan untuk menguji abrasi agregat kasar.
10. Alat Bantu
 - a. Vibrator untuk pemadatan pada waktu pembuatan benda uji.
 - b. Gelas ukur 250 ml, digunakan dalam pengujian kandungan zat organik.
 - c. Pengukur waktu.
11. Satu set alat uji permeabilitas.
 - a. Air compressor untuk menghasilkan tekanan udara.
 - b. Tabung gas, berfungsi untuk pengumpul tekanan.
 - c. Selang tekanan untuk menyalurkan tekanan dari tabung ke benda uji.
 - d. Katup pengatur tekanan untuk mengatur keluar masuknya tekanan sebagai penghubung selang ke benda uji maupun tabung gas.
 - e. Selang transparan untuk mengukur penurunan aliran air.
 - f. Tiang penyangga untuk menggantung selang transparan agar tegak.

3. 6. Pengujian Permeabilitas

Sebelum dilakukan uji permeabilitas, terlebih dahulu dilakukan pembebanan terhadap benda uji secara incremental seperti yang telah direncanakan, yaitu sebesar 0,1f'c, 0,3f'c, 0,4f'c, 0,6f'c, 0,7f'c, 0,8f'c, 0,9f'c. Setelah itu dilakukan uji permeabilitas terhadap benda uji yang telah dibebani tersebut. Permeabilitas beton dapat diukur dari sampel beton yang di-*sealed* dari air bertekanan pada sisi atasnya dan meliputi aspek banyaknya air yang lewat pada ketebalan beton pada waktu tertentu. Tekanan air dan waktu penekanan dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Tekanan Air pada Sampel Beton Dan Waktu Penekanan

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

Permeabilitas dapat pula diekspresikan sebagai koefisien permeabilitas (k) yang dievaluasi berdasarkan hukum Darcy sebagai berikut:

$$(1/A) (dQ/dt) = k (\Delta h/L)$$

Dengan :

dQ/dt = kecepatan aliran air

A = luas penampang sebaran air pada beton

Δh = tinggi air jatuh

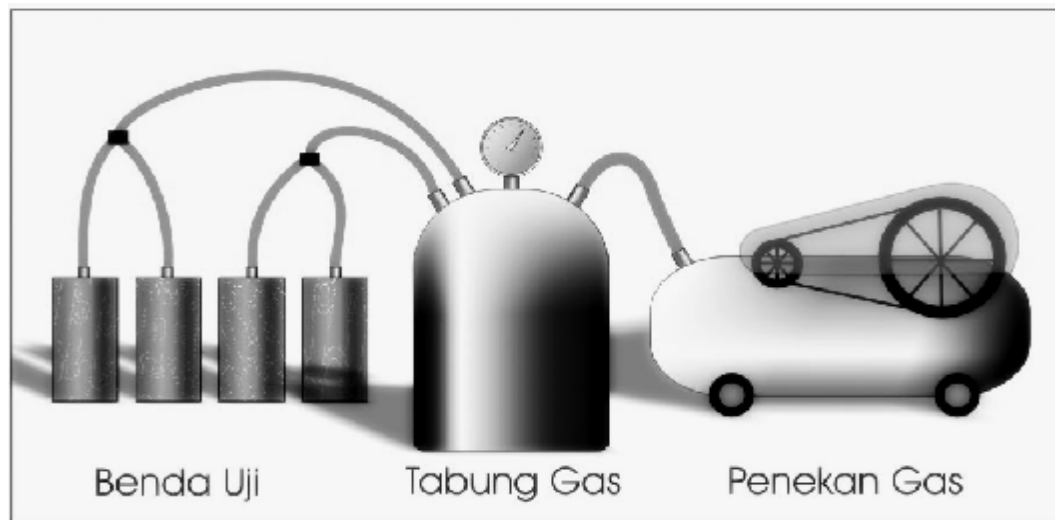
L = ketebalan penetrasi air pada beton

k = koefisien permeabilitas

Pengujian permeabilitas dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Untuk mengevaluasi ketebalan / kedalaman penetrasi air
 - a. Benda uji dikeringkan sampai beratnya konstan dengan cara dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam.
 - b. Air dengan tekanan tertentu dimasukkan lewat selang pada permukaan atas sampel dengan cara memberi lubang sebesar pipa selangnya. Selang air bertekanan di-*sealed*, diikat dengan klem pada permukaan atas beton.

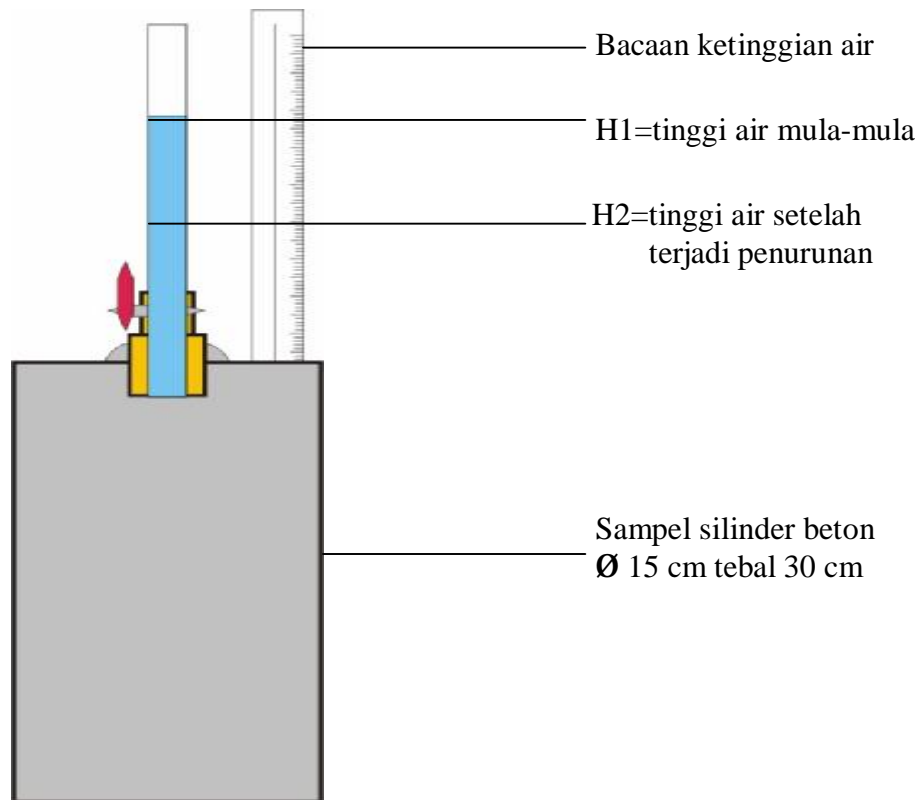
- c. Sampel kemudian diberi air bertekanan 1 kg/cm^2 selama 48 jam, lalu dilanjutkan air bertekanan 3 kg/cm^2 selama 24 jam, dan dilanjutkan air bertekanan 7 kg/cm^2 selama 24 jam, kemudian benda uji dibelah. Permeabilitas diukur dari kedalaman penetrasi air yang terjadi (diukur dari permukaan pipa selang sampai kedalaman pada beton).



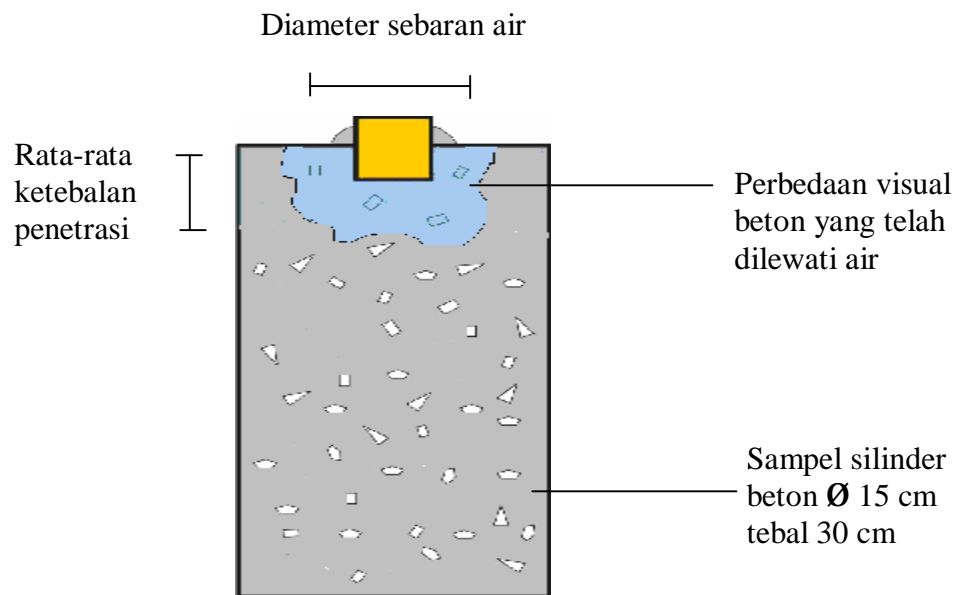
Gambar 3.2. Skema Setup Alat pada Pengujian Permeabilitas

2. Untuk mengevaluasi koefisien permeabilitas

Koefisien permeabilitas beton dievaluasi dengan cara sebagai berikut : setelah sampel diberi tekanan 7 kg/cm^2 selama 24 jam, kemudian sampel tersebut di atasnya diberi selang yang telah diisi oleh air . Fungsi dari selang air ini adalah untuk mengetahui penurunan air yang terjadi selama 1 jam. Kemudian sampel dibelah dengan alat uji tarik belah dan dievaluasi kedalaman penetrasi airnya, diameter sebaran air dan k dievaluasi berdasarkan hukum Darcy. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada gambar 3. 3 dan gambar 3. 4.



Gambar 3. 3. Pengukuran Koefisien Permeabilitas



Gambar 3. 4. Beton Setelah Dibelah

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4. 1. Hasil Uji Material Pembentuk Beton

Dalam bab ini disajikan hasil penelitian dan pembahasan terhadap hasil yang diperoleh. Sedangkan hasil pemeriksaan bahan dasar penyusun beton disajikan dalam lampiran A.

4. 1. 1. Hasil Pengujian Agregat Halus

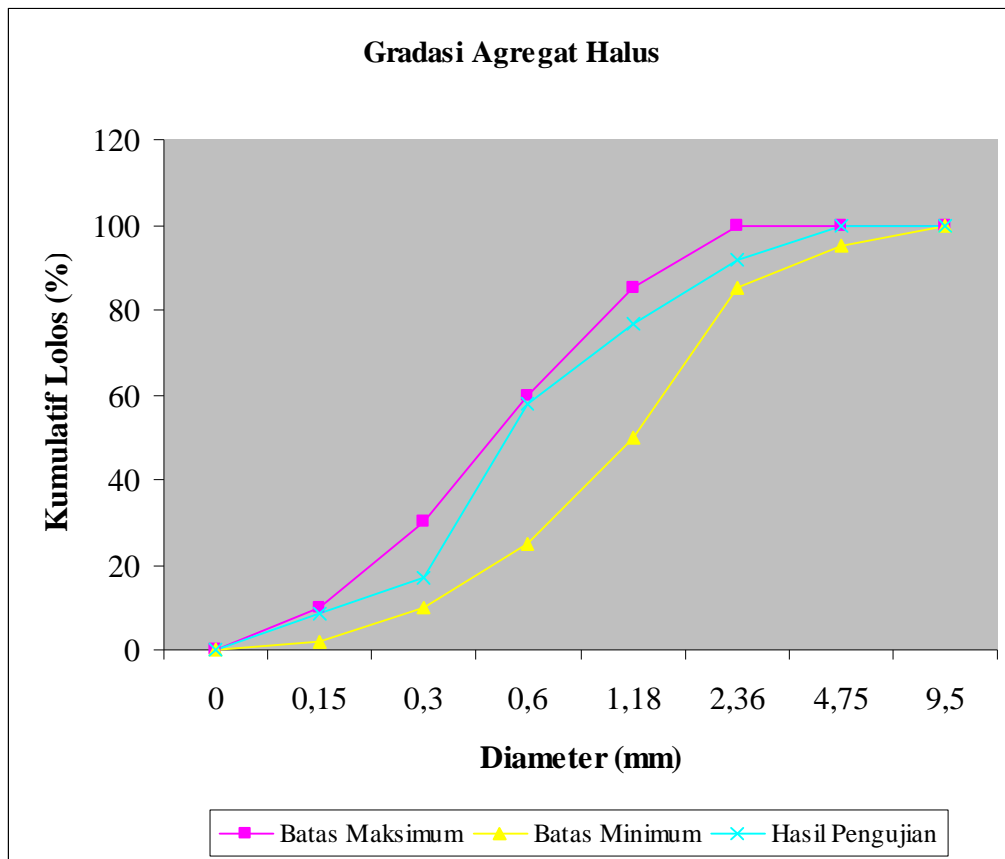
Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan terhadap agregat halus, maka diperoleh hasil seperti yang tercantum dalam Tabel 4. 1 dan Tabel 4. 2, sedangkan data pengujian dan analisisnya dapat dilihat pada lampiran A.

Tabel 4. 1. Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Syarat	Kesimpulan
1	Kandungan Lumpur	0,87%	5%	Memenuhi Syarat
2	Kandungan Zat Organik	Kuning Muda	Kuning	Memenuhi Syarat
3	Bulk Specific Gravity SSD	2,583	2,5-2,7	Memenuhi Syarat
4	Modulus Kehalusan Butir	2,48	2,3-3,1	Memenuhi Syarat

Tabel 4. 2. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus

Ukuran Ayakan (mm)	Tertahan			Kumulatif Lolos (%)	Syarat ASTM C33
	Berat (gr)	Persentase (%)	Kumulatif (%)		
9,5	0	0	0	100	100
4,75	1,67	0,056	0,056	99,944	95-100
2,36	244,27	8,159	8,215	91,785	80-100
1,18	445,15	14,869	23,084	76,916	50-85
0,6	564,57	18,858	41,942	58,058	25-60
0,3	1237,66	41,341	83,283	16,717	10-30
0,15	244,5	8,167	91,450	8,550	2-10
Pan	255,98	8,550	100,000	0	0
Jumlah	2993,8	100,000	348,029		



Gambar 4. 1. Grafik Daerah Susunan Butir Agregat Halus

4. 1. 2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

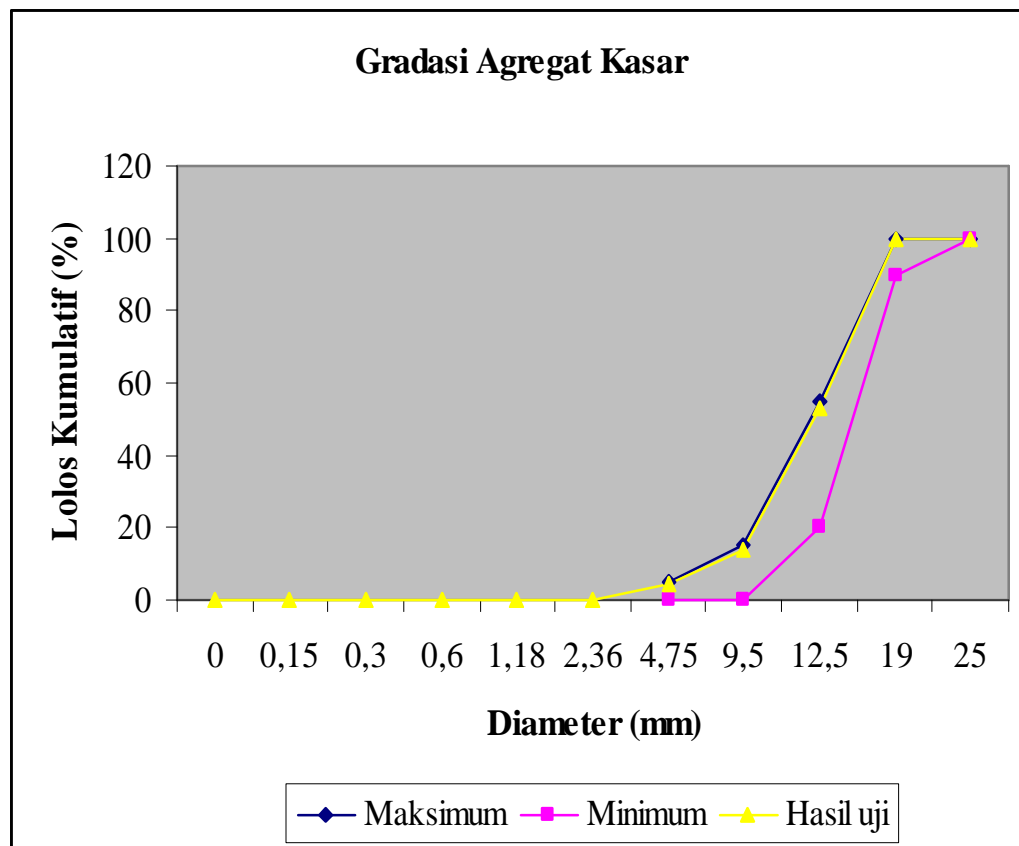
Hasil pengujian agregat kasar tercantum dalam Tabel 4. 3 dan 4. 4, sedangkan data pengujian dan analisisnya dapat dilihat pada lampiran A.

Tabel 4. 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Syarat	Kesimpulan
1	Abrasi	38,6 %	50 %	Memenuhi Syarat
2	Bulk Specific Gravity SSD	2,506	2,5-2,7	Memenuhi Syarat
3	Modulus Kehalusan Butir	7.280	5-8	Memenuhi Syarat

Tabel 4. 4. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Ayakan (mm)	Tertahan			Kumulatif Lolos (%)	Syarat ASTM C33
	Berat (gr)	Persentase (%)	Kumulatif (%)		
25	0	0,000	0,000	100,000	100
19	0	0,000	0,000	100,000	90-100
12,5	1400,765	46,699	46,699	53,301	20-55
9,5	1190,812	39,700	86,399	13,601	0-15
4,75	272,083	9,071	95,470	4,530	0-5
2,36	135,87	4,530	100,000	0,000	-
1,18	0	0,000	100,000	0,000	-
0,6	0	0,000	100,000	0,000	-
0,3	0	0,000	100,000	0,000	-
0,15	0	0,000	100,000	0,000	-
Pan	0	0,000	100,000	0,000	-
Jumlah	2999,53	100,000	828,569		



Gambar 4. 2. Grafik Daerah Susunan Butir Agregat Kasar

4. 2. Hasil Perhitungan Rencana Campuran Beton

Dalam penelitian ini penghitungan campuran adukan beton berdasarkan cara Standar Departemen Pekerjaan Umum (SKSNI T-15-1990-03). Hasil penghitungan proporsi campuran beton dapat dilihat pada tabel 4. 5.

Tabel 4. 5. Rencana Campuran Adukan Beton

Uraian	Nilai
Kuat tekan yang disyaratkan umur 28 hari	25 MPa
Deviasi standar	7 MPa
Nilai tambah	12 MPa
Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan	$25+12=37$ MPa
Jenis semen	Semen portland tipe 1
Jenis kerikil	Batu pecah
Faktor air semen	0,50
Slump	30-60 mm
Ukuran agregat maksimum	20 mm
Kebutuhan air	210 lt/m ³
Kebutuhan semen	$210/0,5=420$ kg/m ³
Susunan besar butir agregat halus	Daerah gradasi susunan butir 2
Persentase pasir terhadap agregat campuran	40 %
Berat jenis agregat campuran	$60\% \times 2,506 + 40\% \times 2,583 = 2,537$
Berat jenis beton	2300 kg/m ³
Kadar agregat campuran	$2300 - 210 - 420 = 1670$ kg/m ³
Kebutuhan pasir	$40\% \times 1670 = 668$ kg/m ³
Kebutuhan kerikil	$1670 - 668 = 1002$ kg/m ³

4. 3. Hasil Uji Sifat Material Beton

Untuk mendapatkan sifat-sifat struktural beton, digunakan sampel silinder diameter 15 cm, tinggi 30 cm sebanyak 3 sampel. Sampel ini diuji kuat desaknya sehingga menghasilkan kuat desak $f'c$. Sifat material beton ini dapat dilihat pada tabel 4. 6 dibawah ini.

Tabel 4. 6. Sifat Material Beton

Parameter	Hasil
Nilai slump	60 mm
Berat jenis	2296,232 kg/m ³
Kuat tekan rata-rata 3 sampel	26,50 MPa

4. 4. Hasil Uji Permeabilitas

Benda uji yang akan diuji permeabilitasnya ini terlebih dahulu telah dibebani dengan beban desak sebesar 0,1 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,6; 0,7 ; 0,8 ; 0,9 $f'c$. Pengujian ini untuk mengetahui penetrasi dan permeabilitas beton dengan cara memberikan tekanan air pada benda uji sebesar 1 kg/m² selama 48 jam, 3 kg/m² selama 24 jam, 7 kg/m² selama 24 jam. Untuk lebih jelasnya, hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4. 7, dan gambar 4. 3.

Tabel 4. 7. Hasil Uji Permeabilitas

Benda Uji	Beban Desak	Penetrasi (m)	ho (m)	hi (m)	t (dt)	d (m)	$\frac{dQ}{dt} = \frac{1}{4} * \pi * d_{selang}^2 * (h_o - h_i) / t$ (m ³ /dt)	$k = 1/A * (dQ/dt) * L/dh$ (m/dt)	k rata-rata
A-10	0,1 f ^c	0,0225	0,7	0,697	3600	0,1075	3,20542E-11	1,13575E-10	1,22097E-10
B-10		0,034	0,7	0,697	3600	0,105	3,20542E-11	1,79894E-10	
C-10		0,015	0,7	0,698	3600	0,0895	2,13694E-11	7,28234E-11	
A-30	0,3 f ^c	0,0383	0,7	0,698	3600	0,0975	2,13694E-11	1,56681E-10	1,67135E-10
B-30		0,019	0,7	0,697	3600	0,1065	3,20542E-11	9,77172E-11	
C-30		0,014	0,7	0,697	3600	0,0575	3,20542E-11	2,47007E-10	
A-40	0,4 f ^c	0,025	0,7	0,695	3600	0,055	5,34236E-11	8,03489E-10	3,8944E-10
B-40		0,019	0,7	0,697	3600	0,1155	3,20542E-11	8,30819E-11	
C-40		0,0483	0,7	0,697	3600	0,1	3,20542E-11	2,8175E-10	
A-60	0,6 f ^c	0,035	0,7	0,69	3600	0,07	1,06847E-10	1,38889E-09	1,65162E-09
B-60		0,0325	0,7	0,69	3600	0,07	1,06847E-10	1,28968E-09	
C-60		0,03	0,7	0,685	3600	0,062	1,60271E-10	2,27627E-09	
A-70	0,7 f ^c	0,039	0,7	0,685	3600	0,101	1,60271E-10	1,11509E-09	1,86025E-09
B-70		0,0413	0,7	0,68	3600	0,0975	2,13694E-10	1,68953E-09	
C-70		0,05	0,7	0,67	3600	0,1025	3,20542E-10	2,77613E-09	
A-80	0,8 f ^c	0,0625	0,7	0,675	3600	0,0975	2,67118E-10	3,196E-09	4,66745E-09
B-80		0,0515	0,7	0,66	3600	0,095	4,27389E-10	4,43829E-09	
C-80		0,0655	0,7	0,65	3600	0,1	5,34236E-10	6,36806E-09	
A-90	0,9 f ^c	0,0723	0,7	0,65	3600	0,0975	5,34236E-10	7,39426E-09	1,01794E-08
B-90		0,0673	0,7	0,644	3600	0,09	5,98344E-10	9,04719E-09	

C-90	0,0814	0,7	0,643	3600	0,08	6,09029E-10	1,40966E-08	
------	--------	-----	-------	------	------	-------------	-------------	--

Contoh perhitungan hasil uji permeabilitas

Kolom 1 = Nama benda uji A-10.

Kolom 2 = Beban desak $0,1 f'c$

dimana, $f'c = P_{maks}/\text{Luas sampel}$

sehingga, beban desak (P) pada $0,1 f'c = 0,1 \times f'c \times \text{Luas sampel}$
 $= 0,1 \times P_{maks}$

Kolom 3 = Penetrasi (L) = 0,0225 m

Kolom 4 = Tinggi air mula-mula (h_0) = 0,7 m

Kolom 5 = Tinggi air setelah 1 jam (h_1) = 0,697 m

Kolom 6 = Waktu pengujian (t) = 3600 detik

Kolom 7 = Diameter sebaran air (d) = 0,1075 m

Kolom 8 = Kecepatan aliran air (dQ/dt) = Luas selang x penurunan air / waktu
 $= \frac{1}{4} \times \pi \times d_{\text{selang}}^2 \times (h_0 - h_1) / t$
 $= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,7^2 \times (0,7 - 0,697) / 3600$
 $= 3,20542 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{dt}$

Kolom 9 = Koefisien permeabilitas (k) = $1/A \times (dQ/dt) \times L / dh$

dimana, A = Luas sebaran air

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

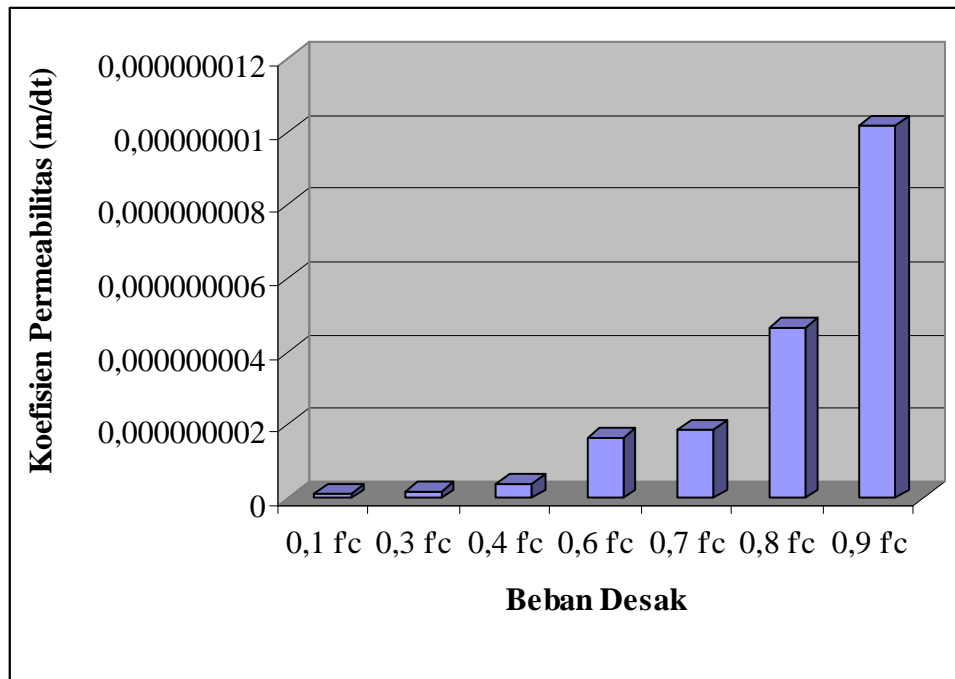
$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,1075^2$$

$$= 9,07166 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

dh = tinggi air jatuh

$$= 0,7 \text{ m}$$

Sehingga, $k = 1 / 9,07166 \times 10^{-3} \times 3,20542 \times 10^{-11} \times 0,0225 / 0,7$
 $= 1,13575 \times 10^{-10} \text{ m/dt}$



Gambar 4. 3. Hubungan antara pembebanan dengan koefisien permeabilitas

4. 5. Analisa Data

4. 5. 1. Analisa Terhadap Material Pembentuk Beton

4. 5. 1. 1. Analisa Terhadap Pengujian Agregat Halus

a. Pemeriksaan kandungan zat organik

Warna larutan hasil pengamatan adalah kuning muda. Hal ini menunjukkan bahwa pasir mengandung zat organik yang dapat menurunkan kekuatan beton 0% sampai 10%. Hasil ini masih memenuhi standar PBI 1971 , sehingga pasir tidak perlu dicuci.

b. Pemeriksaan kandungan lumpur

Kandungan lumpur dalam pasir sebesar 0,87% masih memenuhi syarat PBI 1971 yaitu yaitu tidak boleh lebih dari 5%, sehingga pasir tidak perlu dicuci.

c. Pengujian gradasi agregat halus

Modulus halus agregat halus berkisar antara 2,3-3,8 (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996). Dari hasil perhitungan diperoleh modulus halus sebesar 2,48 sehingga masih memenuhi syarat.

4. 5. 1. 2. Analisa Terhadap Pengujian Agregat Kasar

a. Pengujian abrasi

Kehilangan berat tidak boleh lebih dari 50% (PBI 1971). Dari hasil perhitungan didapat keausan kerikil sebesar 38,6%, sehingga kerikil masih memenuhi syarat sebagai agregat kasar.

b. Pengujian gradasi agregat kasar

Modulus halus agregat kasar berkisar antara 5-8 (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996). Dari hasil perhitungan diperoleh nilai modulus halus kerikil sebesar 7,28, sehingga masih memenuhi syarat sebagai agregat kasar.

4. 5. 2. Analisa Terhadap Pengujian Permeabilitas

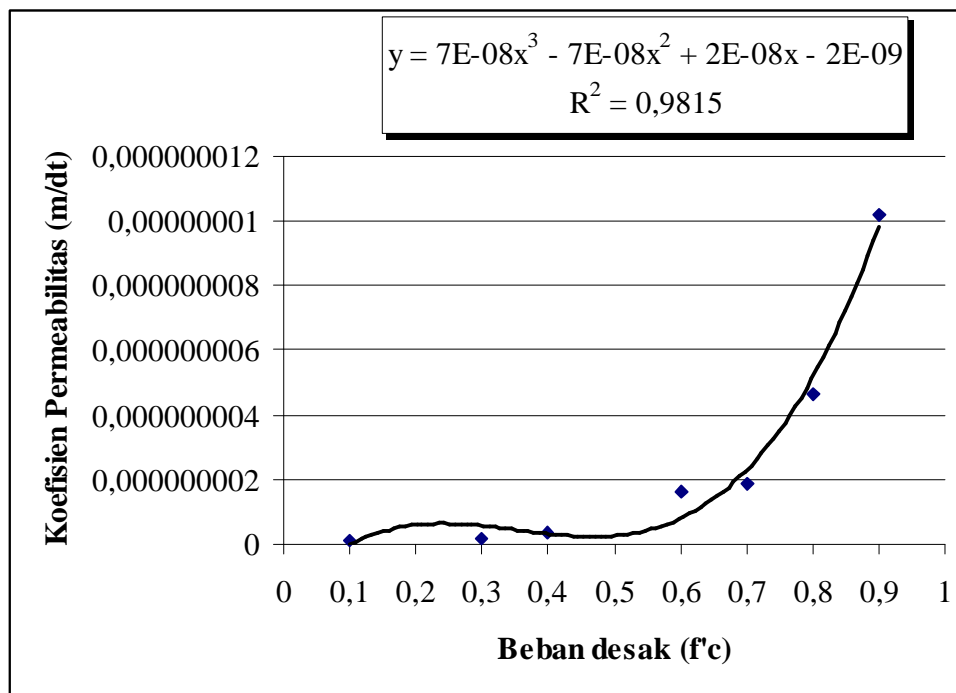
Dari hasil perhitungan koefisien permeabilitas terlihat bahwa koefisien permeabilitas makin meningkat seiring dengan peningkatan beban. Peningkatan koefisien permeabilitas ini dapat dilihat dalam tabel 4. 8 dibawah ini.

Tabel 4. 8. Hubungan Peningkatan Beban Terhadap Koefisien Permeabilitas

Beban	Penambahan Beban (%)	Peningkatan Koefisien Permeabilitas (%)
0,1 fc		
0,3 fc	20	36,88644662
0,4 fc	10	133,009644
0,6 fc	20	324,0996007
0,7 fc	10	12,63203052
0,8 fc	10	150,9045658
0,9 fc	10	118,0925359

4. 5. 3. Analisa Regresi Hasil Pengujian Permeabilitas

Analisa regresi yang dilakukan pada penelitian ini adalah regresi *polinomial orde 3* dengan tujuan untuk mengetahui nilai koefisien determinasi (R^2) yang menunjukkan seberapa besar ketepatan garis regresi yang terbentuk dan untuk mengetahui sejauh mana hubungan antara variabel-variabel penyusunnya.



Gambar 4. 4. Grafik Regresi Koefisien Permeabilitas dengan Beban

Dari gambar 4. 4. tersebut diatas diperoleh nilai $R^2 = 0,9815$ yang nilainya mendekati 1, artinya kedua variabel tersebut mempunyai hubungan yang signifikan. Dari grafik tersebut juga diperoleh persamaan yang dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya koefisien permeabilitas (Y) dari besarnya beban desak (X).

4. 6. Pembahasan

Faktor yang mempengaruhi permeabilitas beton selain porositas beton itu sendiri, juga dipengaruhi oleh kapiler-kapiler yang menghubungkan pori-pori tersebut. ACI Standart 301-89 menyatakan koefisien permeabilitas maksimum sebesar $1,5 \times 10^{-11}$ m/s untuk beton kedap air. Dari hasil perhitungan dan analisa data terlihat bahwa mulai pembebanan sebesar 0,1f'c koefisien permeabilitas sebesar $1,22097 \times 10^{-10}$ m/s, ternyata tidak memenuhi ACI Standart, karena sampel adalah beton normal. Adanya beban menyebabkan terjadinya retakan dalam beton. Retakan ini kemudian saling menghubungkan pori-pori dalam beton, membentuk jaringan kapiler yang lebih besar. Semakin banyak kapiler yang saling terhubung memudahkan air untuk melewati beton, sehingga koefisien permeabilitasnya semakin besar. Pada pembebanan 0,1f'c-0,4f'c, belum banyak perubahan koefisien permeabilitas. Penambahan beban hanya berefek kecil terhadap peningkatan koefisien permeabilitas. Hal ini dimungkinkan karena retakan yang terjadi masih stabil dan hanya bertambah sedikit., Pada pembebanan sebesar 0,6f'c-0,7f'c, mulai terjadi peningkatan koefisien permeabilitas yang besar. Hal ini karena pada rentang beban ini retakan mulai meningkat jumlah, panjang, dan lebar. Pada pembebanan sebesar 0,8f'c-0,9f'c, koefisien permeabilitas meningkat sangat tajam. Tingginya koefisien permeabilitas pada rentang beban ini sangat riskan terjadi kebocoran dan korosi tulangan pada struktur beton selama masa layan. Sehingga pada struktur yang mensyaratkan untuk kedap air misalnya pada tandon air, basement, penampung zat polutan berbahaya, jangan sampai terjadi beban sebesar 0,8f'c-0,9f'c untuk menjamin agar tidak terjadi kebocoran yang berbahaya.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5. 1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian di laboratorium dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada pembebanan $0,1f^c-0,4f^c$, belum banyak perubahan koefisien permeabilitas. Penambahan beban hanya berefek kecil terhadap peningkatan koefisien permeabilitas.
2. Pada pembebanan sebesar $0,6f^c-0,7f^c$, mulai terjadi peningkatan koefisien permeabilitas yang besar. Hal ini karena pada rentang beban ini retakan mulai meningkat jumlah, panjang, dan lebar.
3. Pada pembebanan sebesar $0,8f^c-0,9f^c$, koefisien permeabilitas meningkat sangat tajam. Tingginya koefisien permeabilitas pada rentang beban ini sangat riskan terjadi kebocoran sehingga pada struktur yang mensyaratkan untuk kedap air, jangan sampai terjadi beban sebesar $0,8f^c-0,9f^c$ untuk menjamin agar tidak terjadi terjadi kebocoran yang berbahaya.

5. 2. Saran

Saran-saran untuk penelitian selanjutnya antara lain :

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh retakan akibat pembebanan terhadap koefisien permeabilitas pada beton ringan, beton serat, dan beton mutu tinggi.
2. Perlu dilakukan penelitian tentang tinjauan yang lain, misalnya serapan air.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1990. *SK SNI S-36-1990-03 Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air*. Bandung : Departemen Pekerjaan Umum. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan
- Anonim. 1991. *SK SNI T-15-1990-03 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Bandung : Departemen Pekerjaan Umum. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan
- Anonim. 1988. *Annual Book of American Society of Testing and Materials Standard (ASTM)*. Philadelphia
- Anonim. 2001. *Standart Test for Repair Materials and Coating for Concrete. Part Two: Permeability Test*. Sheffield : The University of Sheffield Department of Civil and Structural Engineering
- Barry, B. 1996. *Etude de Coupelage Hydraulic et Mechanique Dans Le Beton Endommage*. Thesis Doktor Ecole Normale Superieure de Cachan (ENSC)
- Illston, JM. 1994. *Construction Materials Their Nature and Behaviour*. E and FN Spon, An Imprint of Chapman and Hall
- Jackson, Neil and Dhir, Ravindra K. 1996. *Civil Engineering Materials*. Macmillan Press LTD
- Mac Gregor, James. 1997. *Reinforced Concrete Mechanics and Design*. New Jersey : Prentice Hall International Inc
- Montheillet, F Moussy F. 1986. *Physique et Mecanique de L'endommagement*. Group de Reflexion Endommagement GRECO, Les Cedex France

- Murdock, L.J. and Brook, K.M. 1991. *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta : Erlangga
- Neville, A.M and Brook, J.J. 1987. *Concrete Technology*. New York : John Wiley and Sons Inc
- Neville, A.M. 1995. *Properties of Concrete*. London : The English Language Book Society and Pitman Publishing
- Picandet, V, Khelidj A, Sebastian G. 2001. *Effect of Axial Compressive Damage on Gas Permeability of Ordinary and High-Performance Concrete*. Cement and Concrete Research
- Rapoport, Julie, et al. 2001. *Permeability of Cracked Steel Fiber Reinforced Concrete*. National Institute of Statistical Sciences. Technical Report Number 115
- Tjokrodimuljo, Kardiyono. 1996. *Teknologi Beton*. Surabaya : Penerbitan Universitas Kristen PETRA
- Wang, Kejin, et al. 1996. *Permeability of Cracked Concrete*. National Institute of Statistical Sciences. Technical Report Number 46



LAMPIRAN A

HASIL PENGUJIAN AGREGAT

PEMERIKSAAN AGREGAT HALUS

- Pengujian** : **Kandungan Zat Organik**
Tanggal : 7-8 Desember 2005
Standar : ASTM C-40
Alat dan bahan : - Gelas ukur 250 cc
- Oven listrik
- Pasir
- Larutan NaOH 3%

Hasil pengujian :

- Warna larutan hasil pengamatan : Kuning Muda
- Tabel perubahan warna Prof. Ir. Rooseno

Tabel A.1 Tabel Perubahan Warna

Warna Larutan	Kadar 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. IrRooseno

Syarat :

Agregat halus yang mengandung bahan organik dapat dipakai, asal kekuatan tekan pada umur 7 hari dan 28 hari tidak kurang dari 95 % dari kekuatan adukan yang sama tetapi dicuci dalam larutan NaOH 3 % yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air pada umur yang sama atau penurunan yang diperbolehkan maksimum 5 % (PPBI 1971)

Analisa :

Warna larutan hasil pengamatan adalah kuning muda, berarti masih memenuhi syarat

PEMERIKSAAN AGREGAT HALUS

- Pengujian** : **Kandungan Lumpur**
Tanggal : 7-8 Desember 2005
Standar : ASTM C-117
Alat dan bahan : - Gelas ukur 250 cc - Pipet
- Oven listrik - Pasir 100 gr
- Cawan - Air bersih
- Neraca
Hasil pengujian :

Tabel A.2 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur Agregat Halus

Simbol	Keterangan	Berat (gr)
G ₀	Pasir sebelum dicuci (kering 110 °C, 24 jam)	100
G ₁	Pasir setelah dicuci (kering 110 °C, 24 jam)	99,13
G ₀ – G ₁	Selisih pasir sebelum dan setelah dicuci	0,87

Prosentase kandungan lumpur :

$$\begin{aligned}\text{Kandungan lumpur} &= \frac{G_0 - G_1}{G_0} \times 100\% \\ &= \frac{0,87}{100} \times 100\% = 0,87\end{aligned}$$

Syarat :

Kandungan lumpur dalam agregat halus tidak boleh lebih dari 5 % (PPBI 1971 pasal 3.3 ayat 3)

Analisa :

Dari hasil perhitungan diperoleh kandungan lumpur dalam pasir adalah 0,87% lebih kecil dari 5%, sehingga pasir tersebut memenuhi syarat sebagai agregat halus.

PEMERIKSAAN AGREGAT HALUS

- Pengujian** : **Specific Gravity**
Tanggal : 7-9 Desember 2005
Standar : ASTM C-128
Alat dan bahan :
- *Volumetrik flask*
- *Conical Mould* + penumbuk
- Oven listrik
- Pasir 500 gr
- Neraca
- Air bersih

Hasil pengujian :

Tabel A.3 Hasil Pengujian *Specific Gravity* Agregat Halus

Simbol	Keterangan	Berat (gr)
	Pasir kondisi SSD	500
a	Pasir kering oven	490
b	Berat Volumetrik + Air	700
c	Berat Volumetrik + Pasir + Air	1003

$$\text{Bulk Specific gravity} : \frac{a}{b + 500 - c} = 2,487$$

$$\text{Bulk Specific gravity SSD} : \frac{500}{b + 500 - c} = 2,583$$

$$\text{Apparent Specific gravity} : \frac{a}{b + a - c} = 2,620$$

$$\text{Absorbtion} : \frac{500 - a}{a} \times 100 \% = 2,041\%$$

PEMERIKSAAN AGREGAT HALUS

- Pengujian** : **Gradasi**
- Tanggal** : 7 Desember 2005
- Standar** : ASTM C-136
- Alat dan Bahan** : - Satu set ayakan (9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.85 mm, 0.3 mm, 0.15 mm dan pan)
 - Timbangan
 - Mesin getar ayakan
 - Pasir kering oven

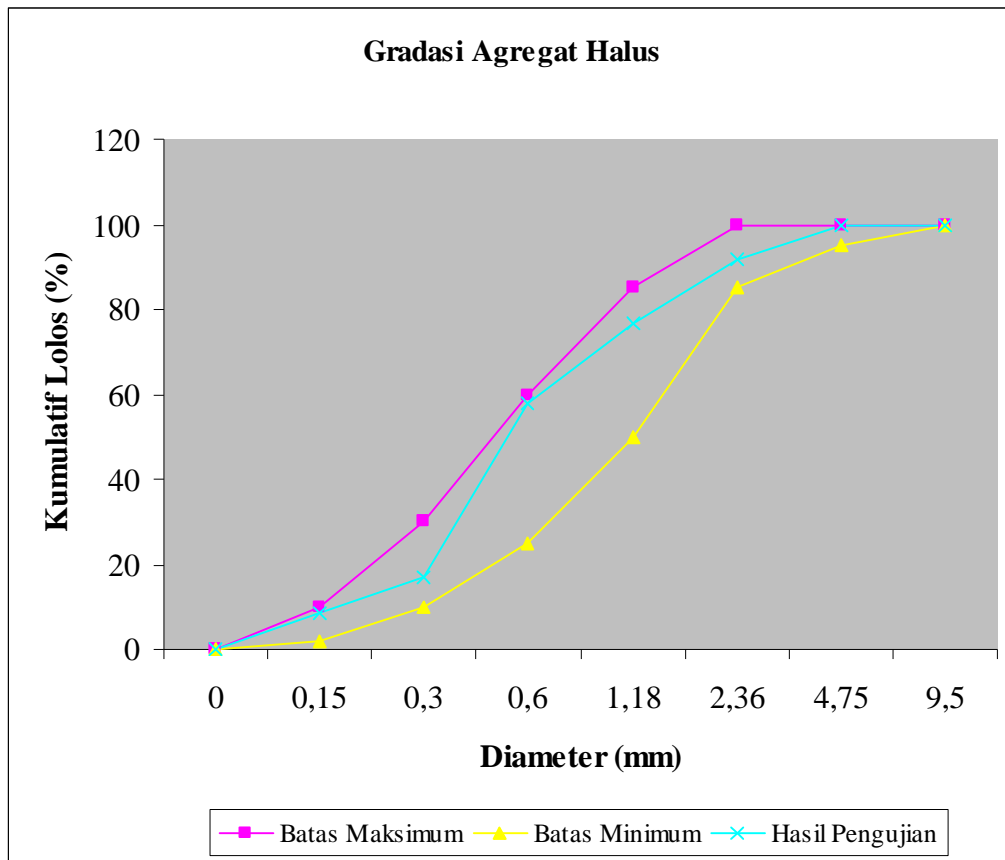
Hasil Pengujian :

Tabel A.4 Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus :

Ukuran Ayakan (mm)	Tertahan			Kumulatif Lolos (%)	Syarat ASTM C33
	Berat (gr)	Persentase (%)	Kumulatif (%)		
9,5	0	0	0	100	100
4,75	1,67	0,056	0,056	99,944	95-100
2,36	244,27	8,159	8,215	91,785	85-100
1,18	445,15	14,869	23,084	76,916	50-85
0,6	564,57	18,858	41,942	58,058	25-60
0,3	1237,66	41,341	83,283	16,717	10-30
0,15	244,5	8,167	91,450	8,550	2-10
Pan	255,98	8,550	100,000	0	0
Jumlah	2993,8	100,000	348,029		

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus} &= \frac{\sum (\% \text{ kum}) - 100}{100} \\ &= \frac{348,029 - 100}{100} = 2,48 \end{aligned}$$

$$\text{Agregat yang hilang} = \frac{3000 - 2993,8}{3000} \times 100\% = 0,207\%$$



Gambar A.1 Kurva Daerah Susunan Gradasi Agregat Halus

Syarat :

Modulus halus agregat halus berkisar antara 2.3 – 3.1. (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1996)

Analisa :

Modulus halus dan gradasi dari agregat halus berada diantara batas maksimum dan minimum. Hal ini menandakan bahwa agregat halus yang akan digunakan telah memenuhi syarat yang telah ditetapkan ASTM C-33

PEMERIKSAAN AGREGAT KASAR

Pengujian : **Abrasi Agregat Kasar**
Tanggal : 7 Desember 2005
Standar : ASTM C-131
Alat dan bahan : - Bejana Los Angeles dan bola baja
- Saringan
- Neraca
- Kerikil

Hasil pengujian:

Tabel A.5 Hasil Pengujian Abrasi Agregat Kasar

Simbol	Keterangan	Berat (gr)
A	Berat kerikil oven mula-mula	5000
B	Sisa kerikil kering oven diatas ayakan 2.36 mm	3070

$$\begin{aligned}\text{Persentase berat yang hilang} &= \frac{A - B}{A} \times 100 \% \\ &= \frac{5000 - 3070}{5000} \times 100 \% \\ &= 38,6 \%\end{aligned}$$

Syarat :

Kehilangan berat tidak boleh lebih dari 50 % (PPBI 1971 pasal 3.4 ayat 5)

Analisis :

Abrasi yang terjadi 38,6 % dan ini memenuhi standar yang disyaratkan, yaitu kurang dari 50%

PEMERIKSAAN AGREGAT KASAR

- Pengujian** : **Specific Gravity**
Tanggal : 7-8 Desember 2005
Standar : ASTM C-128
Alat dan bahan :
- Bejana dan kontainer
- Oven listrik - Kerikil 3000 gr
- Neraca - Air bersih

Hasil pengujian :

Tabel A.6 Hasil Pengujian Specific Gravity Agregat Kasar

Simbol	Keterangan	Berat (gr)
a	Kerikil kering oven	3000
b	Berat kerikil SSD total	3128,02
c	Berat kerikil dalam air	1880

$$\text{Bulk Specific gravity} : \frac{a}{b-c} = 2,403$$

$$\text{Bulk Specific gravity SSD} : \frac{b}{b-c} = 2,506$$

$$\text{Apparent Specific gravity} : \frac{a}{a-c} = 2.679$$

$$\text{Absorbtion} : \frac{b-a}{a} \times 100 \% = 4,267 \%$$

PEMERIKSAAN AGREGAT KASAR

- Pengujian** : **Gradasi**
- Tanggal** : 7 Desember 2005
- Standar** : ASTM C-136
- Alat dan bahan** :
- Satu set ayakan (3,75 mm; 25 mm; 12,5mm; 9,5 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 0,6 mm; 0,30mm; 0.15 mm; pan)
 - Timbangan
 - Mesin getar ayakan
 - Kerikil kering oven

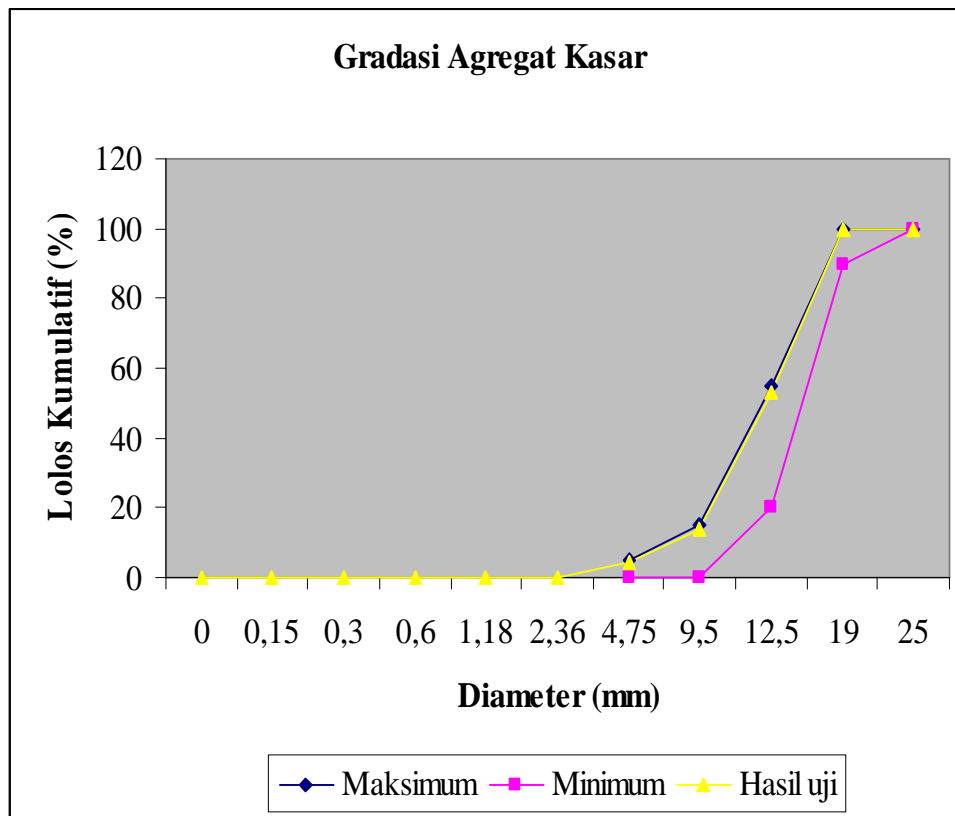
Hasil pengujian :

Tabel A.7 Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Ayakan (mm)	Tertahan			Kumulatif Lolos (%)	Syarat ASTM C33
	Berat (gr)	Persentase (%)	Kumulatif (%)		
25	0	0,000	0,000	100,000	100
19	0	0,000	0,000	100,000	90-100
12,5	1400,765	46,699	46,699	53,301	20-55
9,5	1190,812	39,700	86,399	13,601	0-15
4,75	272,083	9,071	95,470	4,530	0-5
2,36	135,87	4,530	100,000	0,000	-
1,18	0	0,000	100,000	0,000	-
0,6	0	0,000	100,000	0,000	-
0,3	0	0,000	100,000	0,000	-
0,15	0	0,000	100,000	0,000	-
Pan	0	0,000	100,000	0,000	-
Jumlah	2999,53	100,000	828,569		

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus} &= \frac{\sum (\%kum) - 100}{100} \\ &= \frac{828,569 - 100}{100} = 7,28 \end{aligned}$$

$$\text{Agregat yang hilang} = \frac{3000 - 2999,53}{3000} \times 100\% = 0.0047\%$$



Gambar A.2 Kurva Daerah Susunan Butir Agregat Kasar

Syarat:

Menurut Kardiyono Tjokrodimuljo, modulus halus agregat kasar berkisar antara 5 – 8.

Analisa :

Modulus halus dan gradasi dari agregat kasar berada diantara batas maksimum dan minimum. Hal ini menandakan bahwa agregat kasar yang akan digunakan telah memenuhi syarat yang telah ditetapkan ASTM C-33.



LAMPIRAN B

DOKUMENTASI PENELITIAN



Ayakan dan Mesin Penggetar



Timbangan



Oven



Mesin Los Angeles



Conical Mould dan Gelas Ukur



Kerucut Abrams



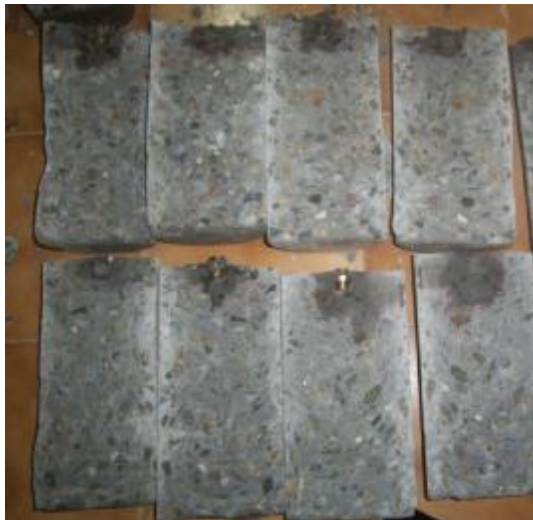
Vibrator



Uji Permeabilitas



Penetrasi Air



Benda Uji Setelah Dibelah