

RANCANG BANGUN ALAT UJI PERMEABILITAS BETON

Handoko Sugiharto, Wong Foek Tjong

Dosen Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil - Universitas Kristen Petra
e-mail: hands@peter.petra.ac.id

Allan Surya, Koeshardiono Wibowo

Alumni Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan - Universitas Kristen Petra

ABSTRAK

Permeabilitas beton terhadap air merupakan faktor penting yang mempengaruhi durabilitas struktur beton yang berhubungan langsung dengan air, seperti pelabuhan, jembatan, dan *basement*. Untuk mengetahui karakteristik permeabilitas beton diperlukan uji permeabilitas. Makalah ini menyajikan suatu alat uji permeabilitas beton terhadap air yang dirancang dan dibuat oleh penulis. Dengan alat ini uji permeabilitas beton dapat dilakukan baik dengan cara aliran maupun cara penetrasi. Ujicoba penggunaan alat ini dilakukan dengan cara uji aliran terhadap 12 sampel beton dengan variasi faktor air semen 0.4 dan 0.5 serta variasi *curing* kering dan basah. Rata-rata koefisien permeabilitas yang diperoleh berbeda sekitar 5%-26% dari yang didapatkan dengan alat uji permeabilitas buatan Marui. Dilakukan pula ujicoba dengan cara penetrasi terhadap enam sampel beton *curing* kering dengan variasi faktor air semen 0.4 dan 0.5. Rata-rata koefisien permeabilitas yang dari uji penetrasi berbeda dari yang dihasilkan dengan uji aliran masing-masing 23% dan 90% untuk beton dengan faktor air semen 0.4 dan 0.5.

Kata kunci: beton, air, permeabilitas, alat uji, koefisien permeabilitas.

ABSTRACT

The permeability of concrete to water is an important factor that have an effect to durability of concrete structures having direct contact with water, such as port structures, bridges, and basements. In order to identify the permeability nature of concrete, permeability testing is needed. This paper presents a concrete permeability test equipment that was designed and built by the authors. The equipment can be used to conduct permeability tests by flow test as well as by penetration test method. The trial tests of the equipment by flow test method were conducted to 12 concrete specimens with water-cement ratio 0.4 and 0.5 and with wet and dry curing method. The averages of coefficients of permeability obtained differ in the range of 5%-26% from that obtained by using permeability test equipment made by Marui. In addition, the trial tests by penetration method were also conducted to six dry-cured concrete specimens with water-cement ratio 0.4 and 0.5. The averages of coefficients of permeability obtained from the penetration test differs from the flow test 23% and 90% for concrete of water -cement ratio 0.4 and 0.5, respectively.

Keywords: concrete, water, permeability, test equipment, coefficient of permeability.

PENDAHULUAN

Salah satu faktor yang mempengaruhi durabilitas beton adalah permeabilitas beton, yaitu kemudahan beton untuk dapat dilalui air. Macam uji permeabilitas yang lazim dilakukan antara lain permeabilitas terhadap ion chlorida, permeabilitas terhadap udara, dan permeabili-

tas terhadap air. Uji permeabilitas terhadap air sendiri dibedakan menjadi beberapa kategori, yaitu uji serapan permukaan, uji penyerapan air (penetrasi), uji kecepatan aliran air, dan uji kapilaritas [1]. Macam-macam uji tersebut dapat dilakukan uji setempat atau uji di laboratorium. Uji setempat hingga saat ini masih sulit dilakukan karena keterbatasan alat dan kondisi lingkungan. Uji di laboratorium lebih sering dilakukan dengan mengambil contoh beton dari lapangan atau mencetak secara khusus contoh beton yang akan diuji.

Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Nopember 2004. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Dimensi Teknik Sipil Volume 7, Nomor 1, Maret 2005.

Khusus untuk uji permeabilitas terhadap air, di Indonesia masih jarang dilakukan karena uji ini membutuhkan waktu yang cukup lama, harga alat tes permeabilitas yang relatif mahal, dan kondisi lingkungan tropis yang sangat lembab sehingga bisa mempengaruhi keberhasilan tes ini [2]. Padahal hasil uji ini sangat penting khususnya untuk struktur beton di daerah pantai, struktur beton yang terdapat pada permukaan air dan terendam air. Beton yang teresapi oleh air akan mengalami degradasi pada ketahanan dan kekuatannya. Untuk itu perlu diadakan antisipasi pada disain struktur beton yang berhubungan dengan air, seperti jembatan, pelabuhan, dan *basement*.

Di dalam makalah ini akan diberikan deskripsi suatu alat uji permeabilitas baru, yang dirancang dan dibuat oleh penulis. Alat ini dapat digunakan untuk uji permeabilitas dengan cara aliran dan cara penetrasi. Alat ini kemudian diujicoba dengan cara uji aliran terhadap 12 sampel beton dengan variasi faktor air semen (FAS) 0.5 dan FAS 0.4 serta variasi cara perawatan beton (*curing*) kering dan basah. Koefisien permeabilitas dari 12 sampel beton itu kemudian dihitung dan hasilnya dibandingkan dengan yang didapatkan dari alat uji permeabilitas yang sudah ada, yaitu alat uji buatan *Marui Company Limited* [3]. Selain itu alat yang baru ini diujicoba dengan cara penetrasi terhadap 3 sampel beton FAS 0.4 dan 3 sampel beton FAS 0.5 yang dirawat dengan cara kering. Koefisien permeabilitas yang didapatkan dengan cara uji penetrasi ini kemudian dibandingkan dengan yang didapatkan dengan cara uji aliran.

LANDASAN TEORI

Permeabilitas beton adalah kemudahan beton untuk dapat dilalui air. Jika beton tersebut dapat dilalui air, maka beton tersebut dikatakan permeabel. Jika sebaliknya, maka beton tersebut dikatakan impermeabel. Maka sifat permeabilitas yang penting pada beton adalah permeabilitas terhadap air.

Untuk mengetahui dan mengukur permeabilitas beton perlu dilakukan pengujian. Uji permeabilitas ini terdiri dari dua macam: uji aliran (*flow test*) dan uji penetrasi (*penetration test*). Uji yang pertama digunakan untuk mengukur permeabilitas beton terhadap air bila ternyata air dapat mengalir melalui sampel beton. Uji penetrasi digunakan jika dalam percobaan permeabilitas tidak ada air yang mengalir melalui sampel. Dari data yang dihasilkan oleh uji permeabilitas ini dapat

ditentukan koefisien permeabilitas, suatu angka yang menunjukkan kecepatan rembesan fluida dalam suatu zat.

Pada uji aliran, koefisien permeabilitas dihitung dengan Rumus Darcy [2],

$$K = \frac{\rho g L Q}{P A} \tag{1}$$

di mana:

- K : koefisien permeabilitas (cm/det)
- ρ : massa jenis air (kg/cm³)
- g : percepatan gravitasi (cm/det²)
- L : panjang atau tinggi sampel (cm)
- Q : debit aliran air (cm³/det)
- P : tekanan air (kg cm/det²/cm²)
- A : luas penampang sampel (cm²)

Pada uji penetrasi, Rumus yang dipakai adalah [2]

$$K = \frac{d^2 v}{2 T h} \tag{2}$$

di mana:

- K : koefisien permeabilitas (m/det)
- d : kedalaman penetrasi (m)
- T : waktu penetrasi (det)
- h : tinggi tekanan (m)
- v : angka pori beton

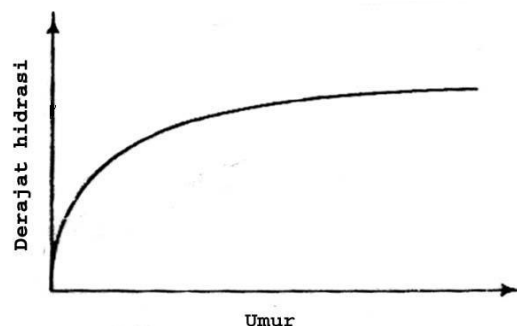
Angka pori beton, v , dihitung dengan menggunakan Rumus [1]

$$v = \frac{\{(w/c) \times (100 - \alpha \times 36,15)\}}{(w + 100/g)} \tag{3}$$

di mana:

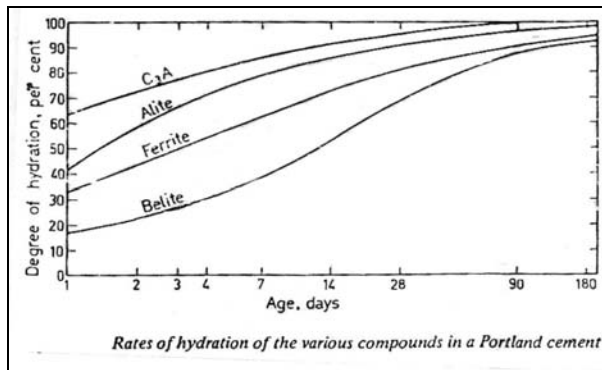
- v : angka pori beton
- w/c : faktor air semen
- w : jumlah air bebas dalam beton (g/cm³)
- g : massa jenis beton (g/cm³)
- α : derajat hidrasi beton

Derajat hidrasi beton, α , diperoleh dari grafik yang menyatakan hubungan antara derajat hidrasi dan umur pasta semen untuk tipe semen tertentu. Bentuk tipikal grafik ini diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik tipikal derajat hidrasi semen menurut umur beton [4]

Grafik lain yang dapat digunakan untuk menentukan derajat hidrasi beton untuk berbagai jenis tipe semen bila telah diketahui komponennya adalah seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2 [4].

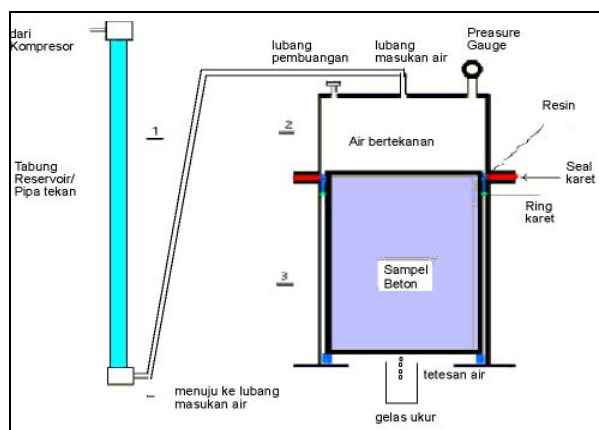


Gambar 2. Grafik derajat hidrasi semen menurut komponen penyusun semen [4]

DISAIN ALAT UJI PERMEABILITAS BETON

Suatu alat uji permeabilitas beton dirancang dan dibuat. Gambar skematis alat uji itu diperlihatkan pada Gambar 3. Alat ini dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu: (1) pipa pemberi tekanan, (2) tutup silinder, dan (3) silinder penahan beton.

Bagian pertama adalah pipa pemberi tekanan. Pipa ini berisi air dan mendapat tekanan dari kompresor. Tekanan ini kemudian diteruskan pada tutup silinder. Pipa ini sekaligus berfungsi sebagai tempat cadangan air.



Gambar 3. Alat uji permeabilitas yang baru.

Bagian kedua adalah tutup silinder. Bagian ini berhubungan langsung dengan silinder penahan beton. Di dalam tutup silinder terdapat air bertekanan yang langsung menekan permukaan

benda uji. Pada tutup silinder terdapat tiga lubang. Lubang pertama untuk memasukkan air, lubang kedua untuk mengeluarkan udara di dalamnya, dan lubang ketiga berhubungan dengan manometer untuk mengukur tekanan air.

Bagian ketiga adalah silinder penahan beton. Silinder ini berfungsi sebagai tempat untuk benda uji. Bagian ini dihubungkan dengan tutup silinder dengan baut. Untuk mencegah kebocoran digunakan lapisan karet di antara bibir silinder dengan bibir tutup silinder.

Alat ini dapat dipakai untuk menguji permeabilitas beton terhadap air berdasarkan uji aliran maupun uji penetrasi. Langkah-langkah pengujian dengan cara uji aliran adalah:

1. Siapkan beberapa benda uji berupa beton dengan diameter 15 cm, tinggi 30 cm. Benda uji tersebut merupakan ukuran silinder standar untuk uji kekuatan beton. Ukuran ini dipakai dengan tujuan untuk memudahkan proses pembuatan benda uji. Benda uji ini kemudian dipotong menjadi tiga bagian, masing-masing berupa silinder tinggi 10 cm diameter 15 cm.
2. Sekeliling beton dibuat kedap air dengan menambahkan lapisan kedap air. Lapisan ini terbuat dari campuran resin dan katalisnya. Benda uji tersebut kemudian dimasukkan dalam silinder penahan beton. Celah di antara benda uji dengan silinder penahan beton ditutup dengan ring karet dan lapisan resin. Hal ini untuk mencegah kebocoran melalui celah tersebut.
3. Permukaan atas beton diberi air dengan tekanan tertentu selama waktu pengujian. Air yang menetes ditampung dalam gelas ukur untuk mengetahui volumenya. Pertambahan volume air setiap satu jam dicatat untuk mengetahui debit air yang mengalir. Pengujian dihentikan bila telah terjadi debit aliran yang konstan, yaitu pada saat pertambahan volume setiap jam pada gelas ukur sudah konstan.
4. Hitung koefisien permeabilitas dengan menggunakan Rumus (1). Debit air yang diambil untuk perhitungan koefisien permeabilitas adalah debit air yang sudah konstan.

Langkah-langkah pengujian dengan cara uji penetrasi adalah:

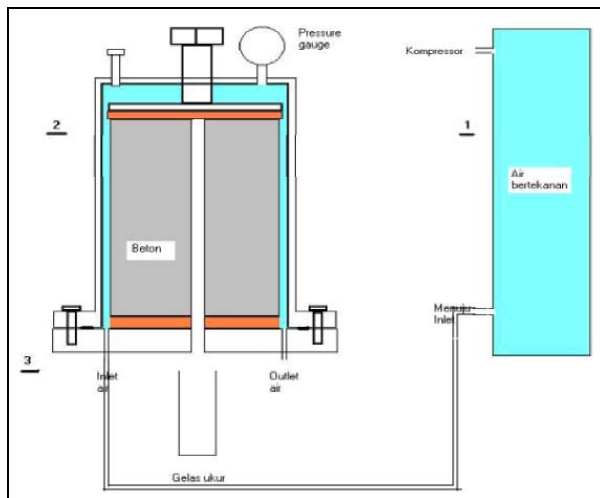
1. Siapkan beberapa benda uji berupa beton berdiameter 15 cm dan tingginya 30 cm. Perbedaannya dengan cara uji aliran adalah pada cara ini silinder-silinder beton tidak dipotong menjadi tiga bagian.

2. Sama seperti pada cara uji aliran.
3. Permukaan atas beton diberi air dengan tekanan tertentu selama waktu pengujian. Waktu pengujian ini ditetapkan terlebih dahulu, misalnya selama enam jam.
4. Sampel beton itu kemudian dikeluarkan dan dibelah. Kedalaman penetrasi diamati, diukur, dan dicatat.
5. Hitung koefisien permeabilitas dengan menggunakan Rumus (2).

ALAT UJI PERMEABILITAS MARUI

Alat uji permeabilitas buatan Marui [3] menguji permeabilitas beton dengan cara uji aliran. Alat ini akan dipakai untuk membandingkan koefisien permeabilitas yang didapatkan dari alat uji permabilitas yang baru.

Gambar skematis alat Marui diperlihatkan pada Gambar 4. Alat ini juga memiliki tiga bagian utama yaitu: (1) tabung cadangan air, (2) tabung penahan beton, dan (3) tutup bawah. Pada tabung penahan beton juga memiliki tiga lubang dengan fungsi yang sama seperti alat uji yang dibuat oleh penulis.



Gambar 4. Alat uji permeabilitas buatan Marui.

Benda uji yang digunakan adalah silinder dengan diameter 15 cm, tinggi 30 cm, dengan lubang memanjang di tengahnya (Gambar 4). Ukuran diameter lubang tengah standar adalah 1,5 cm, namun ukuran ini dapat diubah sesuai dengan keperluan. Silinder ini diberi air bertekanan tinggi dari samping hingga air menetes lewat lubang tengah. Debit air yang mengalir dicatat dan data ini kemudian dipakai untuk menentukan koefisien permeabilitas.

Untuk menghitung koefisien permeabilitas digunakan Rumus:

$$K = \frac{2.3Q\rho \log(R_0 - R_1)}{2\pi LP} \quad (4)$$

di mana:

K : koefisien permeabilitas (cm/det)

ρ : massa jenis air (kg/cm³)

L : tinggi sampel (cm)

R_0 : jari-jari luar sampel (cm)

R_1 : jari-jari dalam sampel (cm)

Q : debit aliran air (cm³/det)

P : tekanan air (kg/cm²)

Rumus ini sebenarnya adalah Rumus Darcy (1) yang dimodifikasi dengan mempertimbangkan luas penampang yang dilalui air semakin mendekati lubang di tengah silinder, semakin luasnya menyempit.

UJICoba ALAT PERMEABILITAS

Untuk pengujian dibuat 24 silinder beton dengan perincian sebagai berikut: enam silinder beton FAS 0,4 dengan curing kering, enam silinder beton FAS 0,4 dengan curing basah, enam silinder beton FAS 0,5 dengan curing kering, dan enam silinder beton FAS 0,5 dengan curing basah. Dari tiap jenis sampel (enam silinder), tiga silinder diuji dengan alat yang baru dengan cara uji aliran dan tiga diuji dengan alat Marui. Untuk beton dengan *curing* kering dilakukan pula pengujian dengan cara uji penetrasi terhadap tiga sampel beton FAS 0,4 dan tiga sampel beton FAS 0,5. Cara uji penetrasi tidak dilakukan terhadap sampel dengan *curing* basah karena untuk sampel-sampel itu pada waktu dibelah kedalaman penetrasi air sulit dilihat secara visual.

Yang dimaksud dengan *curing* kering adalah beton tidak direndam dalam air setelah dicetak; beton hanya dibiarkan dalam suhu ruangan tanpa dibasahi permukaannya. Sedangkan *curing* basah adalah beton direndam terus dalam air sampai waktu akan dipakai untuk percobaan. Maksud perendaman ini adalah untuk mencapai keadaan jenuh air saat di uji. Tujuan diadakannya dua macam *curing* tersebut adalah untuk merepresentasikan antara kebiasaan *curing* di laboratorium dengan *curing* di lapangan.

Disain campuran untuk masing-masing sampel dilakukan dengan sistem DOE (*Department of Environment*). Berdasarkan sistem itu didapatkan komposisi beton seperti yang tertulis pada Tabel 1. Pengujian dilakukan saat beton mencapai umur sedikitnya 28 hari.

Untuk pengujian dengan cara uji aliran dilakukan hingga tercapai debit rembesan yang konstan. Dari data debit itu kemudian koefisien permeabilitas dihitung dengan Rumus (1) untuk alat yang baru dan dengan Rumus (4) untuk alat buatan Marui. Untuk pengujian dengan cara penetrasi ditetapkan waktu pengujian selama enam jam.

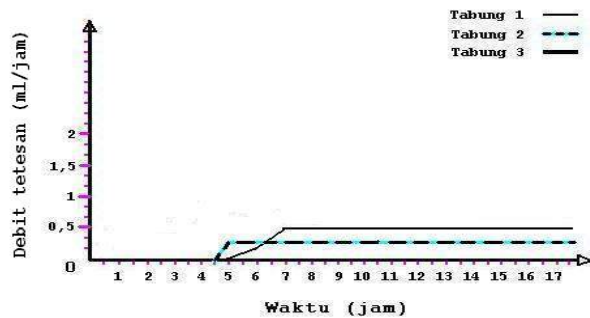
Tabel 1. Komposisi bahan penyusun beton dengan FAS 0,4 dan 0,5

Jenis Beton	FAS 0,4	FAS 0,5
Bahan		
Semen (kg/m ³)	478	402
Pasir (kg/m ³)	624	584
Air (kg/m ³)	215	205
Kerikil (kg/m ³)	1018	1185

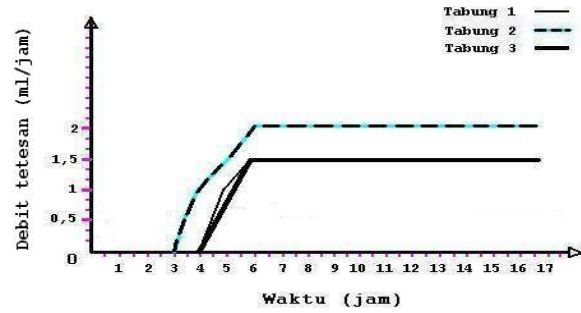
HASIL UJICOBA DAN ANALISIS DATA

Hasil-hasil pengujian cara aliran pada sampel-sampel beton dengan menggunakan alat yang baru diperlihatkan pada Gambar 5, 6, 7 dan 8. Gambar-gambar itu memperlihatkan debit air yang menetes selama waktu pengujian (sekitar 16-18 jam). Dari gambar-gambar itu terlihat secara umum beton dengan FAS 0,4 lebih impermeabel dibandingkan dengan yang FAS 0,5 dan beton yang dibuat dengan kondisi *curing* basah lebih impermeabel dibandingkan dengan yang *curing* kering. Fakta ini sesuai dengan teori yang mengatakan bahwa beton dengan FAS yang rendah akan cenderung lebih kedap air. Beton dengan *curing* kering lebih mudah ditembus air karena proses hidrasi semen pada beton terhenti karena sebagian air menguap.

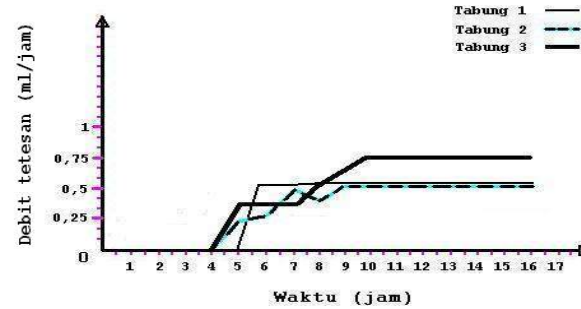
Perhitungan koefisien permeabilitas berdasarkan data debit dari pengujian itu diperlihatkan pada Tabel 2. Rumus yang digunakan untuk perhitungan ini adalah Rumus (1). Untuk sampel beton FAS 0,4 *curing* basah terdapat satu sampel yang tidak dapat ditentukan nilai *K* karena pada saat pengujian tidak terjadi aliran air melalui sampel itu (Gambar 5).



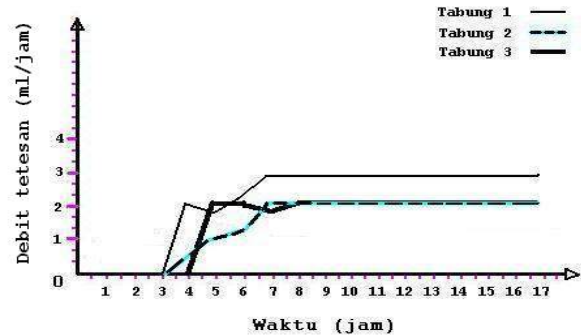
Gambar 5. FAS 0,4, *curing* basah



Gambar 6. FAS 0,4, *curing* kering



Gambar 7. FAS 0,5, *curing* basah



Gambar 8. FAS 0,5, *curing* kering

Tabel 2. Perhitungan koefisien permeabilitas dengan alat yang baru

Keterangan	Q (ml/jam)	P (kg.det ² /cm ³)	g (cm/det ²)	ρ (kg/cm ³)	L (cm)	A (cm ²)	K (cm/det)
FAS 0,4 curing basah							
Tabung 1	0.50	3500	1000	0.001	10	176.7	2.25E-09
Tabung 2	0.30	3500	1000	0.001	10	176.7	1.35E-09
Tabung 3	0.00	3500	1000	0.001	10	176.7	---
FAS 0,4 curing kering							
Tabung 1	1.50	3500	1000	0.001	10	176.7	6.74E-09
Tabung 2	2.00	3500	1000	0.001	10	176.7	8.98E-09
Tabung 3	1.50	3500	1000	0.001	10	176.7	6.74E-09
FAS 0,5 curing basah							
Tabung 1	0.60	3500	1000	0.001	10	176.7	2.69E-09
Tabung 2	0.50	3500	1000	0.001	10	176.7	2.25E-09
Tabung 3	0.75	3500	1000	0.001	10	176.7	3.37E-09
FAS 0,5 curing kering							
Tabung 1	3.00	3500	1000	0.001	10	176.7	1.35E-08
Tabung 2	2.00	3500	1000	0.001	10	176.7	8.98E-09
Tabung 3	2.00	3500	1000	0.001	10	176.7	8.98E-09

Perhitungan koefisien permeabilitas berdasarkan data debit yang telah konstan dari pengujian sampel-sampel beton dengan menggunakan

alat Marui diperlihatkan pada Tabel 3. Rumus yang digunakan untuk perhitungan ini adalah Rumus (4).

Tabel 3. Perhitungan koefisien permeabilitas dengan alat buatan Marui

Keterangan	Q (ml/jam)	L (cm)	R ₀ (cm)	R ₁ (cm)	P (kg/cm ²)	ρ (kg/cm ³)	K (cm/det)
FAS 0,4 curing basah							
Tabung 1	17.0	30	7.5	0.75	7.0	0.001	6.83E-09
Tabung 2	4.5	30	7.5	0.75	7.0	0.001	1.81E-09
Tabung 3	4.0	30	7.5	0.75	7.0	0.001	1.61E-09
FAS 0,4 curing kering							
Tabung 1	17.3	30	7.5	0.75	6.0	0.001	8.1E-09
Tabung 2	21.2	30	7.5	0.75	6.0	0.001	9.93E-09
Tabung 3	25.5	30	7.5	0.75	6.0	0.001	1.19E-08
FAS 0,5 curing basah							
Tabung 1	0.0	30	7.5	0.75	6.0	0.001	---
Tabung 2	2.0	30	7.5	0.75	6.0	0.001	9.37E-10
Tabung 3	7.5	30	7.5	0.75	6.0	0.001	3.51E-09
FAS 0,5 curing kering							
Tabung 1	25.0	30	7.5	0.75	6.0	0.001	1.17E-08
Tabung 2	30.0	30	7.5	0.75	6.0	0.001	1.41E-08
Tabung 3	25.5	30	7.5	0.75	6.0	0.001	1.19E-08

Untuk membandingkan koefisien permeabilitas dari alat uji yang baru dengan yang dari alat uji Marui dilakukan perhitungan rata-rata K dari dua nilai yang paling berdekatan untuk setiap jenis sampel beton (Tabel 4). Tidak diambil rata-rata dari tiga angka karena pada beton dengan FAS 0,4 curing basah yang diuji dengan alat yang baru (Tabel 2) dan beton dengan FAS 0,5 curing basah yang diuji dengan alat Marui (Tabel 3), dari tiga sampel hanya menghasilkan dua angka K. Alasan lainnya adalah pada beton dengan FAS 0,4 curing basah yang diuji dengan alat Marui terdapat satu angka debit, 7.5 ml/jam, yang cukup jauh berbeda dari dua angka lainnya, yakni 4.5 dan 4.0 ml/jam (Tabel 3). Variasi yang besar ini diduga disebabkan oleh pencampuran beton yang kurang merata.

Tabel 4. Perbandingan nilai K (cm/det)

Keterangan	Alat yang baru		Alat Marui		Rasio perbedaan (%)
	K (cm/det)	Rata-rata dari dua data K	K (cm/det)	Rata-rata dari dua data K	
FAS 0,4 curing basah					
Tabung 1	2.25E-09	1.80E-09	6.83E-09	1.71E-09	5.27%
Tabung 2	1.35E-09		1.81E-09		
Tabung 3	---		1.61E-09		
FAS 0,4 curing kering					
Tabung 1	6.74E-09	6.74E-09	8.10E-09	9.02E-09	25.29%
Tabung 2	8.98E-09		9.93E-09		
Tabung 3	6.74E-09		1.19E-08		
FAS 0,5 curing basah					
Tabung 1	2.69E-09	2.47E-09	0.00E+00	2.23E-09	11.01%
Tabung 2	2.25E-09		9.37E-10		
Tabung 3	3.37E-09		3.51E-09		
FAS 0,5 curing kering					
Tabung 1	1.35E-08	8.98E-09	1.17E-08	1.18E-08	24.06%
Tabung 2	8.98E-09		1.41E-08		
Tabung 3	8.98E-09		1.19E-08		

Dari Tabel 4 terlihat perbedaan rata-rata K dari alat yang baru dengan alat Marui berkisar 26%-5%. Penyebab perbedaan ini diduga karena adanya variasi alamiah dari sampel-sampel beton.

Hasil pengujian dengan cara uji penetrasi pada alat yang baru terhadap sampel-sampel curing kering dan perhitungan koefisien permeabilitas diperlihatkan pada Tabel 5. Rumus yang digunakan untuk perhitungan ini adalah Rumus (2) dan (3).

Tabel 5. Perhitungan koefisien permeabilitas dengan cara penetrasi

Keterangan	w/c	α	w(g/cm ³)	g(g/cm ³)	v
FAS 0,4 curing kering					
Tabung 1	0.4	0.8	215	2.4	0.6789
Tabung 2	0.4	0.8	215	2.4	0.6789
Tabung 3	0.4	0.8	215	2.4	0.6789
FAS 0,5 curing kering					
Tabung 1	0.5	0.8	205	2.4	0.8486
Tabung 2	0.5	0.8	205	2.4	0.8486
Tabung 3	0.5	0.8	205	2.4	0.8486
Keterangan	v	d(m)	T (detik)	h (m)	K (cm/det)
FAS 0,4 curing kering					
Tabung 1	0.6789	0.08	21600	30	3.35E-09
Tabung 2	0.6789	0.11	21600	30	6.34E-09
Tabung 3	0.6789	0.12	21600	30	7.54E-09
FAS 0,5 curing kering					
Tabung 1	0.8486	0.20	21600	30	2.62E-08
Tabung 2	0.8486	0.15	21600	30	1.47E-08
Tabung 3	0.8486	0.17	21600	30	1.89E-08

Perbandingan rata-rata koefisien permeabilitas yang dihasilkan dari uji aliran dan uji penetrasi dengan menggunakan alat yang baru diperlihatkan pada Tabel 6. Dari Tabel itu terlihat perbedaan K dari uji penetrasi dengan yang dari uji aliran lebih besar untuk beton dengan FAS 0,5.

Tabel 6. Perbandingan K dari uji aliran dan uji penetrasi

Keterangan	Uji Aliran		Uji Penetrasi		Rasio perbedaan (%)
	K (cm/det)	Rata-rata K	K (cm/det)	Rata-rata K	
FAS 0,4 curing kering					
Tabung 1	6.74E-09	7.49E-09	3.35E-09	5.74E-09	23.26%
Tabung 2	8.98E-09		6.34E-09		
Tabung 3	6.74E-09		7.54E-09		
FAS 0,5 curing kering					
Tabung 1	1.35E-08	8.98E-09	2.62E-08	1.99E-08	90.35%
Tabung 2	8.98E-09		1.47E-08		
Tabung 3	8.98E-09		1.89E-08		

KESIMPULAN DAN SARAN

Suatu alat uji permeabilitas beton telah dirancang, dibuat, dan diujicoba. Dengan alat baru ini uji permeabilitas dapat dilakukan baik dengan cara aliran maupun cara penetrasi.

Dari hasil ujicoba yang dilakukan untuk berbagai jenis sampel beton diperoleh hasil yang sesuai dengan teori, yakni beton dengan FAS lebih kecil cenderung lebih kedap air dan beton dengan *curing* basah akan lebih kedap air dibandingkan yang dengan *curing* kering. Koefisien permeabilitas yang didapatkan dari alat baru dengan cara uji aliran berbeda sekitar 5%-26% dari yang didapatkan dari alat uji buatan Marui. Perbedaan ini bisa disebabkan oleh variasi alamiah dari sampel-sampel beton. Untuk mendapatkan perbandingan yang lebih baik dengan alat Marui masih diperlukan pengujian dengan lebih banyak sampel.

Pemakaian alat baru dengan cara uji penetrasi sebaiknya hanya dilakukan pada sampel-sampel *curing* kering, sebab pada sampel-sampel dengan *curing* basah akan sangat sulit untuk melihat kedalaman penetrasi. Koefisien permeabilitas yang didapatkan dengan cara uji penetrasi menunjukkan hasil yang menyimpang dari hasil perhitungan cara aliran. Penyimpangan ini lebih besar terjadi untuk beton dengan FAS 0.5.

DAFTAR PUSTAKA

1. Khatri, R.P., dan Sirivivatnanon, P., Methods for the Determination of Water Permeability of Concrete, *ACI Journal*, Vol. 94, 1997, pp. 257-260.
2. Bungey, John H., *The Testing of Concrete in Structures*, Surey University Press, New York, 1982.
3. Marui, *Operation Manual for Concrete Permeability Apparatus*, MIC-180, Japan, 1979.
4. I. Soroka, *Portland Cement Paste and Concrete*, The Macmillan, London, 1979.