



TEKNOLOGI RAMAH LINGKUNGAN DALAM PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN

Sertifikat

SEMINAR NASIONAL 2010

Sertifikat Nomor : 0715/SN-FTSP/VII/2010

Diberikan Kepada : **YENNY NURCHASANA**

Sebagai : **PEMAKALAH**



Dekan FTSP ITN Malang,

DEKAN Ir. A. Agus Santosa, MT.



Ketua Panitia Semnas FTSP

Ir. Gatot Adi Susilo, MT.



FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG



PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65146
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

SURAT PERNYATAAN
PEMBERIAN IJIN PUBLIKASI ELEKTRONIK

Menyatakan bahwa Makalah dengan,

Judul : **Koefisien Permeabilitas pada Rekayasa Beton Kedap Air dengan Bahan Baku Limbah Padat Industri Cor Logam di Kabupaten Klaten – Jawa Tengah**
Penulis : **Yenny Nurchasanah**
Instansi : **Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhamadiyah Surakarta.**

Yang telah dipresentasikan dan dimuat dalam Prosiding Seminar Nasional Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang,

Hari / Tanggal : **Kamis, 15 Juli 2010**
Waktu : **Pukul 08.00 WIB s/d selesai**
Tempat : **Gedung Aula Kampus I Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Bendungan Sigura-gura No2 Malang (Jawa Timur)**

Menyetujui hak publikasi pengelektronikan kepada Lembaga Penelitian, Pengabdian Masyarakat dan Publikasi Ilmiah Universitas Muhammadiyah Surakarta pada laman <http://publikasiilmiah.ums.ac.id/>

Demikian harap digunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 18 Februari 2014
DEKAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan



Dr. Ir. Kustamar, MT.
NIP. 196402011991031002



Koefisien Permeabilitas pada Rekayasa Beton Kedap Air dengan Bahan Baku Limbah Padat Industri Cor Logam di Kabupaten Klaten - Jawa Tengah

Yenny Nurchasanah

Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1, Pabelan, Kartasura 57102, Telp 0271-717417
Email : yn.chasanah@gmail.com

Abstrak

Limbah padat industri cor logam atau biasa disebut Klelet menyerupai agregat padat yang berwarna hitam pekat, bentuk menyudut, dan dari segi porositas memiliki porositas 0%, karena memang tidak tembus air seperti kristal kaca. Dilihat dari porositasnya yang hampir 0% (tidak dapat meloloskan air), maka memungkinkan untuk memanfaatkan limbah tersebut dalam pembuatan beton kedap air. Perencanaan campuran dilakukan dengan 2 macam fas (faktor air semen), yaitu 0,40 dan 0,50 pada setiap variasi baik untuk pengujian permeabilitas maupun untuk pengujian kuat tekan. Fas 0,4, beton dengan agregat kasar klelet cenderung lebih permiabel dengan penurunan 37,86% (agregat 20mm) dan 13,57% (agregat 10mm) terhadap beton normal. Fas 0,5, beton dengan agregat kasar klelet juga cenderung lebih permiabel dengan penurunan 12,26% (agregat 20mm) dan 9,03% (agregat 10mm) terhadap beton normal. Sedangkan pada beton dengan agregat keseluruhan (baik kasar maupun halus) digantikan dengan klelet, fas 0,4 cenderung lebih impermeabel dibandingkan dengan beton normal yaitu 35% (agregat 10mm) dan 24,29% (agregat 20mm). Fas 0,5 juga cenderung lebih impermeabel dibandingkan dengan beton normal yaitu 43,57% (agregat 10mm) dan 20% (agregat 20mm). Seiring dengan nilai permeabilitas, pada fas 0,4, beton dengan agregat klelet memiliki koefisien permeabilitas terbaik yaitu $4.80E-06$ cm/dtk. Begitu pula pada fas 0,5, beton dengan agregat klelet memiliki koefisien permeabilitas terbaik yaitu $7.50E-06$ cm/dtk. Fas yang memberikan sifat impermeabel yang optimum terdapat pada beton dengan pemakaian limbah padat klelet sebagai pengganti pada keseluruhan agregatnya baik agregat kasar maupun agregat halus, yaitu fas 0,4, karena agregat klelet mempunyai pori-pori yang cukup sedikit dan berwujud seperti kaca sehingga air yang masuk lebih sedikit dibandingkan dengan agregat kerikil yang pori-porinya terlalu dalam dan mudah dimasuki air sehingga mempengaruhi nilai rembesan yang terjadi.

Kata kunci : beton kedap air ; fas ; koefisien permeabilitas

Pendahuluan

Untuk memperoleh campuran yang mudah untuk dikerjakan biasanya akan digunakan air yang berlebihan dari pada yang dibutuhkan guna persenyawaan kimia dengan semen. Air ini menggunakan ruangan, dan bila kemudian kering akan meninggalkan rongga-rongga udara. Selain air yang mengawali pemakaian ruangan dan kelak menjadi rongga, terjadi juga rongga-rongga udara langsung pada jumlah persentase yang kecil. Hal lain ialah, terdapatnya pengurangan volume absolut dari semen dan air setelah reaksi kimia dan terjadi pengeringan sedemikian rupa sehingga pasta semen yang sudah kering akan menempati volume yang lebih kecil dibanding dengan pasta yang masih basah, berapapun perbandingan air semennya yang digunakan. Terkait dengan faktor mutu dan porositas dari agregat, di sentra industri rakyat cor logam di Batur, Ceper, Klaten terdapat limbah padat dalam jumlah yang cukup besar yang oleh pelaku industri disempatkan disebut dengan nama *Klelet*. *Klelet* menyerupai agregat padat yang berwarna hitam pekat, bentuk menyudut, dan dari segi porositas memiliki porositas 0%, karena memang tidak tembus air seperti kristal kaca. Penelitian Munir (2001) menunjukkan, bahwa pemakaian *klelet* ternyata tidak efektif untuk menggantikan posisi agregat batu alami (kerikil). Hasil penelitian menunjukkan bahwa



kuat tekan beton yang menggunakan agregat klelet lebih rendah sekitar 30 % dibanding beton yang menggunakan agregat batu alami (kerikil).

Identifikasi dan Perumusan Masalah

Dari sisi kuat-tekan, pemakaian *klelet* sebagai pengganti agregat terbukti tidak efektif. Dari hasil ini, maka tertutup sudah kemungkinan pemanfaatan limbah padat *klelet* sebagai pengganti agregat alternatif pada pemakaian struktur. Namun dilihat dari porositasnya yang hampir 0% (tidak dapat meloloskan air), maka masih memungkinkan untuk memanfaatkan limbah tersebut dalam pembuatan beton kedap air. Pada bangunan-bangunan yang memiliki fungsi khusus seperti lapisan kedap air pada plat atap lantai, dinding dan dasar dari bak air, juga saluran irigasi. Faktor yang lebih diutamakan dalam pemilihan beton adalah lebih pada berapa besar tingkat kekedapannya terhadap air dibanding dengan kekuatannya, dalam hal ini kuat-tekannya.

Salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat kekedapan air adalah mutu dan porositas agregat. Dari sisi ini, maka pemanfaatan limbah padat *klelet* yang memiliki tingkat porositas yang sangat baik diharapkan dapat meningkatkan tingkat kekedapan beton. Tingkat kekedapan air pada beton diukur dengan suatu parameter yang disebut dengan koefisien permeabilitas (K). Dari tinjauan ini, diharapkan pemanfaatan limbah padat *klelet* dapat meningkatkan koefisien permeabilitas beton.

Tinjauan Pustaka Permeabilitas Beton

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. Seperti telah diketahui, beton mempunyai kecenderungan berisi rongga akibat adanya gelembung-gelembung udara yang terbentuk selama atau sesudah pencetakan. Untuk memperoleh campuran yang mudah untuk dikerjakan, maka digunakan air yang berlebihan daripada yang dibutuhkan guna persenyawaan kimia dengan semen. Air ini menggunakan ruangan, dan jika kemudian kering, meninggalkan rongga-rongga udara. Selain air yang mengawali pemakaian ruangan dan kelak menjadi rongga, terjadi juga rongga-rongga udara langsung pada jumlah persentase yang kecil. Hal lain ialah, terdapatnya pengurangan volume absolut dari semen dan air setelah reaksi kimia dan terjadi pengeringan sedemikian rupa sehuigga pasta semen yang sudah kering akan menempati volume yang lebih kecil dibanding dengan pasta yang masih basah, berapapun perbandingan air semennya yang digunakan.

Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Permeabilitas Beton

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekedapan ialah; (i) mutu dan porositas dari agregat, (ii) umur, kekedapan air berkurang dengan perkembangan umur. Pada campuran basah pengurangan ini lebih besar dari pada campuran kering. (iii) gradasi, agregat harus dipilih sedemikian, agar dihasilkan beton dengan kemudahan pengerjaan yang baik, dengan air yang minimal. Gradasi yang kasar dengan banyak pasir, sebaiknya dihindarkan, (iv) perawatan merupakan pengaruh yang penting, oleh karenanya perlu untuk membasahi beton terutama selama beberapa hari.

Pengukuran Permeabilitas Beton

Untuk mengetahui dan mengukur permeabilitas beton perlu dilakukan pengujian. Uji permeabilitas ini terdiri dari dua macam; (1) uji aliran (*flow test*) dan, (2) uji penetrasi (*penetration test*). Uji yang pertama digunakan untuk mengukur permeabilitas beton terhadap air jika 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 sebagai berikut:

$$K = \frac{\rho \cdot g \cdot L \cdot Q}{P \cdot A} \quad (1)$$

dengan: 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/cm²)
 A : luas penampang sampel (cm²)

Pada uji penetrasi, rumus yang dipakai adalah

$$K = \frac{d^2 \cdot v}{2 \cdot T \cdot h} \quad (2)$$

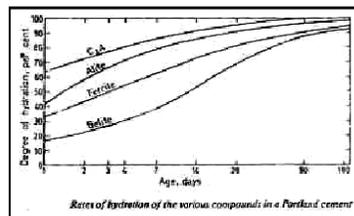
dengan: K : koefisien permeabilitas (m/det)
 d : kedalaman penetrasi (m)
 T : waktu penetrasi (det)
 h : tinggi tekanan (m)
 v : angka pori beton

Angka pori beton, v , dihitung dengan menggunakan rumus

$$v = \frac{\{(w/c) \cdot (100 - a) \cdot 36,15\}}{(w + 100/g)} \quad (3)$$

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

Derajat hidrasi beton, a , 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 derajat hidrasi semen menurut komponen penyusun semen

Perencanaan Beton

Pada penelitian ini, perencanaan adukan beton menggunakan metode SK-SNI-T-15-1990-03. Prosedur perencanaannya meliputi penetapan kuat tekan beton yang direncanakan (f_c), penetapan nilai deviasi standar (S), penghitungan nilai tambah atau margin (M), penetapan kuat-tekan beton rencana rata-rata (f_{cr}), penetapan jenis semen portland yang diusahakan, penetapan jenis agregat, penetapan faktor air semen (f_{as}), penetapan nilai slump, penetapan besar ukuran agregat maksimum, penetapan jumlah air, penetapan jumlah semen, penetapan perbandingan antara berat agregat halus dan agregat kasar, penetapan berat jenis agregat campuran, penetapan berat jenis beton, penetapan kebutuhan agregat halus, dan penetapan kebutuhan agregat kasar.



Tujuan Penelitian

Diakhir penelitian ini dapat diketahui seberapa besar perbaikan sifat permeabilitas beton yang diakibatkan oleh pemakaian limbah padat *Klelet* sebagai pengganti agregat kasar, sekaligus dapat diketahui nilai fas (faktor air semen) yang memberikan sifat permeabilitas yang optimum pada beton. Secara teoritis, hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu teknologi beton. Jika hasil penelitian ini signifikan, diharapkan pemakaian beton dengan agregat dari limbah padat *Klelet* ini dapat diterapkan pada struktur yang memerlukan tingkat kededapan air yang baik, seperti plat lantai atap, dinding dan lantai tangki air, bak-bak air pada instalasi pengolahan air minum, dan sebagainya.

Metode Penelitian

Bahan Penelitian

Bahan-bahan pokok yang dipakai dalam penelitian ini adalah:

1. Semen *Portland* type I.
2. Agregat halus (pasir).
3. Agregat kasar (batu kerikil).
4. Air.
5. *Klelet*, digunakan sebagai bahan pengganti agregat. *Klelet* adalah limbah padat hasil samping dari proses pengecoran besi. Bentuknya padat, menyudut, warnanya hitam pekat. *Klelet* yang digunakan diambil dari sentra industri cor logam desa Batur, kecamatan Ceper, kabupaten Klaten. Pada penelitian ini, ukuran gradasi *klelet* dibuat berdiameter maksimum 10mm dan 20mm.

Tahapan Penelitian

Tahap I : Pengadaan dan pemeriksaan bahan

Pada tahap ini dipersiapkan semua bahan yang akan dipakai dalam penelitian, yaitu semen Portland type I, pasir, kerikil, limbah *Klelet*, dan air. Sebelum digunakan, terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan kualitas bahan. Untuk semen meliputi : uji kehalusan butiran, dan uji visual. Agregat halus (pasir) meliputi : uji kandungan zat organik, kandungan lumpur, berat jenis, dan gradasi butiran. Agregat kasar (kerikil) meliputi : uji kekerasan butiran, berat jenis, berat satuan, dan gradasi butiran. Untuk limbah *Klelet* meliputi : uji berat jenis, dan gradasi. Bahan-bahan tersebut secara kualitas harus memenuhi persyaratan yang diatur dalam peraturan.

Tahap II : Perencanaan beton

Setelah diketahui bahan-bahan yang digunakan memenuhi persyaratan, maka berikutnya dilakukan perencanaan campuran adukan beton. Perencanaan campuran dalam penelitian ini menggunakan metode SNI, dan dilakukan dengan 2 macam fas., yaitu 0,40 dan 0,50.

Tahap III : Pembuatan benda uji

Setelah dilakukan pemeriksaan, dan sudah dapat ditentukan komposisi bahan penyusun beton, maka dilakukan pembuatan benda uji. Pembuatan adukan beton dimulai dengan memasukkan agregat kasar ke dalam concrete mixer, kemudian berturut-turut dimasukkan agregat halus dan semen portland dengan perbandingan berat sesuai perencanaan. Setelah ketiga bahan tersebut sudah tercampur dengan secara cukup merata, kemudian dimasukkan air sejumlah yang diperlukan. Setelah kira-kira 15 menit, dan adukan sudah diyakini merata, sebelum adukan dituang ke cetakan silinder, terlebih dahulu dilakukan uji *slump* dengan kerucut *Abrams* untuk mengetahui tingkat kelecakan adukan beton. Setelah pencetakan, diteruskan dengan pekerjaan perawatan beton. Pekerjaan perawatan dilakukan sampai beton mencapai umur yang direncanakan.



Benda uji yang dibuat meliputi; benda uji silinder untuk uji kuat tekan beton, dan benda uji silinder untuk uji permeabilitas. Jumlah benda uji dibuat sesuai dengan variasi dan kepentingan penelitian.

Tahap IV : Pelaksanaan pengujian

Setelah usia benda uji mencapai mencapai umur yang ditentukan, kemudian dilakukan pengujian. Pengujian-pengujian yang dilakukan ini meliputi:

a). *Pengujian kuat tekan beton.* Sehari sebelum pengujian, benda uji silinder diangkat dari bak perendaman untuk dikeringan dengan cara diangin-anginkan. Kemudian silinder diangkat dan ditempatkan secara sentries pada dudukan mesin penguji, dalam hal ini *Concrete Testing Machine*. Setelah siap, maka dimulai pembebanan dengan kecepatan pembebanan diatur 15 MPa/menit. Selama pengujian, dicatat besarnya beban dan perpindahan benda uji. Pengamatan dilakukan sampai benda uji hancur.

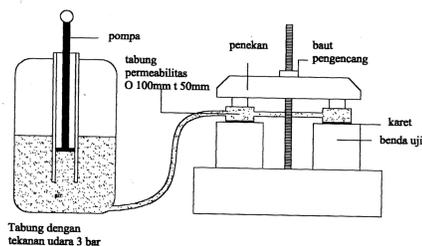
b). *Pengujian permeabilitas beton.* Setelah benda uji sampai pada umur rencana, kemudian dilakukan pengujian permeabilitas beton dengan cara memberikan tekanan air pada permukaan beton, alat ini mempunyai kapasitas tekanan maksimal 10 bar. Langkah-langkah pemeriksaan adalah sebagai berikut: (i) menghaluskan permukaan beton agar rata dan tidak terjadi kebocoran saat pengujian, (ii) memasang tabung penneabilitas pada permukaan yang dihaluskan, supaya lebih rapat pada bagian pertemuan tabung dan beton diberi karet dan dilem, (iii) kemudian beton dipasang pada dudukan penekan dan baut dikencangkan, (iv) tabung air diisi dengan air dan dipompakan sampai diperoleh tekanan 3 bar (kg/cm²), dan dilakukan selama 1 jam, (v) setelah 1 jam benda uji dikeluarkan dari alat uji permeabilitas, kemudian dibelah menggunakan mesin uji tekan dengan posisi silinder terbaring. Setelah silinder beton terbelah, diukur kedalaman rembesan air dari permukaan beton.(vi) dengan menggunakan Persamaan (2) dihitung koefisien permeabilitas (K) benda uji. Set-up pengujian dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. di bawah.

Tahap V : Analisis hasil pengujian

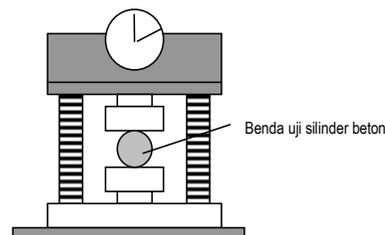
Setelah selesai pengujian, kemudian dilakukan analisis hasil pengujian:

a). *Pengujian kuat desak beton.* Data hasil pengujian kuat desak silinder yang berupa beban P dan perpindahan benda uji dari pembacaan *dial gauge* digambarkan dalam suatu grafik hubungan tegangan-regangan. Kuat desak beton, f'_c diperoleh dengan menghitung persamaan kuat-tekan beton. Dari lima benda uji, diambil nilai rata-ratanya. Dari membandingkan nilai kuat-tekan rerata antara variasi benda uji, dapat diketahui seberapa besar pengaruh f.a.s, ukuran diameter agregat kerikil (dan klelet) terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan.

b). *Pengujian permeabilitas.* Data hasil pengujian permeabilitas benda uji silinder, dapat ditentukan besarnya kedalaman penetrasi (rembesan) air dalam beton. Dari lima benda uji, diambil nilai rata-ratanya. Dari membandingkan rerata antara variasi benda uji, dapat diketahui seberapa besar pengaruh fas, ukuran diameter agregat kerikil (dan klelet) terhadap tingkat kekedapan air yang dihasilkan.



Gambar 2. *Set-up* pengujian permeabilitas beton



Gambar 3. *Set-up* pengujian belah silinder beton



Analisis dan Pembahasan Pengujian Kuat Tekan Beton

Hasil pemeriksaan kuat tekan silinder beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 1. dan Tabel 2.

Tabel 1. Kuat tekan silinder beton, fas 0,4 .

Jenis beton	Ukuran maks agregat (mm)	Kuat Tekan (kg/cm ²)
Beton normal	20	214,692
Beton dengan Agregat klelet	20	143,694
	10	178,457

Tabel 2. Kuat tekan silinder beton, fas 0,5 .

Jenis beton	Ukuran maks agregat (mm)	Kuat Tekan (kg/cm ²)
Beton normal	20	203,255
Beton dengan Agregat klelet	20	153,432
	10	167,021

Pengujian Permeabilitas Beton

Pemeriksaan permeabilitas beton dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas beton sehingga diperoleh beton yang lebih kedap terhadap air atau tidak bisa dilewati oleh air. Sebelum dilakukan pengujian permeabilitas, beton yang telah direndam kemudian didiamkan sampai beton tersebut benar-benar kering, agar dalam pelaksanaan pengujian permeabilitas dapat diketahui seberapa dalamkah air meresap dalam beton. Oleh karena itu, dilakukan penimbangan setiap masing-masing beton agar didapatkan berat yang sama atau konstan, setelah itu beton sudah dapat diuji permeabilitasnya. Hasil pemeriksaan permeabilitas beton dapat dilihat pada Tabel 3. dan Tabel 4.

Pada fas 0,4 , beton dengan agregat kasar klelet memiliki kecenderungan untuk lebih permeabel dengan rata-rata penurunan 37,86% (untuk ukuran agregat maksimum 20mm) dan 13,57% (untuk ukuran agregat maksimum 10mm) terhadap beton normal. Sedangkan untuk beton dengan agregat keseluruhannya dari klelet memiliki kecenderungan untuk lebih impermeabel dibandingkan dengan beton normal yaitu 35% (untuk ukuran agregat maksimum 10mm) dan 24,29% (untuk ukuran agregat maksimum 20mm).

Pada fas 0,5 , beton dengan agregat kasar klelet memiliki kecenderungan untuk lebih permeabel dengan rata-rata penurunan 12,26% (untuk ukuran agregat maksimum 20mm) dan 9,03% (untuk ukuran agregat maksimum 10mm) terhadap beton normal. Sedangkan untuk beton dengan agregat keseluruhannya dari klelet memiliki kecenderungan untuk lebih impermeabel dibandingkan dengan beton normal yaitu 43,57% (untuk ukuran agregat maksimum 10mm) dan 20% (untuk ukuran agregat maksimum 20mm)

Dalam hal ini, beton yang menggunakan agregat keseluruhannya dari klelet lebih kedap terhadap air dibandingkan dengan beton yang menggunakan klelet pada agregat kerikilnya saja. Karena, pada agregat klelet mempunyai pori-pori yang cukup sedikit dan berwujud seperti kaca sehingga air yang masuk lebih sedikit dibandingkan dengan agregat kerikil yang pori-porinya terlalu dalam dan mudah dimasuki air sehingga mempengaruhi nilai rembesan yang terjadi.

Tabel 3. Permeabilitas silinder beton, fas 0,4 .

Jenis beton	0,5 .			
	Ukuran maks agregat	Kedalaman Rembesan (cm)	% thd Beton Normal	Ket
Beton normal	20	2,800	-	-
Beton dengan agregat Kasar Klelet	20	3,780	- 37,86	Lebih permeabel dibanding beton normal
	10	3,480	- 13,57	
Beton dengan agregat Klelet	20	2,420	24,29	Lebih impermeabel dibanding beton normal
	10	1,740	35	

Tabel 4. Permeabilitas silinder beton, fas

Jenis beton	Ukuran maks agregat	Nilai Rembesan (cm)	% thd Beton Normal	Ket
Beton normal	20	3,100	-	-
Beton dengan agregat Kasar Klelet	20	4,460	- 12,26	Lebih permeabel dibanding beton normal
	10	3,720	- 9,03	
Beton dengan agregat Klelet	20	2,820	20	Lebih impermeabel dibanding beton normal
	10	2,700	43,57	



Tabel 5. Nilai koefisien permeabilitas silinder beton, fas 0,4.

Nilai	Diameter maks agregat	ρ (kg/cm ³)	g (cm/det ²)	L (cm)	A (cm ²)	Q (cm ³ /det)	P (kg.det ² /cm ³)	k (cm/det)
Beton normal	20	176.625	1000	30	176.625	0.1374	3000	7.80E-06
Beton dengan agregat Kasar Klelet	20	176.625	1000	30	176.625	0.1856	3000	1.10E-05
	10	176.625	1000	30	176.625	0.1706	3000	9.70E-06
Beton dengan agregat Klelet	20	176.625	1000	30	176.625	0.1188	3000	6.70E-06
	10	176.625	1000	30	176.625	0.0856	3000	4.80E-06

Tabel 6. Nilai koefisien permeabilitas silinder beton, fas 0,5.

Nilai	Diameter maks agregat	ρ (kg/cm ³)	g (cm/det ²)	L (cm)	A (cm ²)	Q (cm ³ /det)	P (kg.det ² /cm ³)	k (cm/det)
Beton normal	20	176.625	1000	30	176.625	0.1521	3000	8.60E-06
Beton dengan agregat Kasar Klelet	20	176.625	1000	30	176.625	0.2188	3000	1.20E-05
	10	176.625	1000	30	176.625	0.1825	3000	1.00E-05
Beton dengan agregat Klelet	20	176.625	1000	30	176.625	0.1384	3000	7.80E-06
	10	176.625	1000	30	176.625	0.1325	3000	7.50E-06

Kesimpulan

1. Fas 0,4, beton dengan agregat kasar klelet cenderung lebih permeabel dengan penurunan 37,86% (agregat 20mm) dan 13,57% (agregat 10mm) terhadap beton normal. Fas 0,5, beton dengan agregat kasar klelet juga cenderung lebih permeabel dengan penurunan 12,26% (agregat 20mm) dan 9,03% (agregat 10mm) terhadap beton normal. Sedangkan pada beton dengan agregat keseluruhan (baik kasar maupun halus) digantikan dengan klelet, fas 0,4 cenderung lebih impermeabel dibandingkan dengan beton normal yaitu 35% (agregat 10mm) dan 24,29% (agregat 20mm). Fas 0,5 juga cenderung lebih impermeabel dibandingkan dengan beton normal yaitu 43,57% (agregat 10mm) dan 20% (agregat 20mm).
2. Seiring dengan nilai permeabilitas, pada fas 0,4, beton dengan agregat klelet memiliki koefisien permeabilitas terbaik yaitu 4.80E-06 cm/dtk. Begitu pula pada fas 0,5, beton dengan agregat klelet memiliki koefisien permeabilitas terbaik yaitu 7.50E-06 cm/dtk.
3. Fas yang memberikan sifat impermeabel yang optimum terdapat pada beton dengan pemakaian limbah padat klelet sebagai pengganti pada keseluruhan agregatnya baik agregat kasar maupun agregat halus, yaitu fas 0,4, karena agregat klelet mempunyai pori-pori yang cukup sedikit dan berwujud seperti kaca sehingga air yang masuk lebih sedikit dibandingkan dengan agregat kerikil yang pori-porinya terlalu dalam dan mudah dimasuki air sehingga mempengaruhi nilai rembesan yang terjadi.



Daftar Pustaka

- Anonim, 1990, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, SKSNI T15-1990-03, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Tjokrodimuljo, K., 1996, *Teknologi Beton*, Penerbit dan Percetakan Nafiri, Yogyakarta.
- Sugiharto, H. dan Tjong, W.H., 2004, *Rancang Bangun Alat Uji Permeabilitas Beton*, jurnal Dimensi Teknik Sipil, jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Salain, I, Made, K, 2007, *Perbandingan Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton Yang Menggunakan Semen Portland Pozzolan Dengan Yang Menggunakan Semen Portland Type I*, Seminar dan Pameran HAKI "Kontruksi Tahan Gempa", Jakarta.
- Munir, M, 2001, *Ekivalensi Kuat Tekan Beton Antara Pemakaian Agregat Batu Pecah Dan Klelet*, Tugas Akhir Strata-1, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.