

PERMEABILITAS BETON DENGAN PENAMBAHAN STYROFOAM

I Gusti Ketut Sudipta¹ dan Ketut Sudarsana¹

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar
E-mail : sudipta@civil.unud.ac.id

Abstrak: Penelitian tentang permeabilitas beton dengan penambahan styrofoam ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara permeabilitas beton dengan prosentase penambahan butiran styrofoam. Penambahan butiran styrofoam dimaksudkan untuk membuat berat satuan beton menjadi lebih kecil.

Bahan-bahan campuran beton yang dipakai adalah semen Portland tipe I, pasir Karangasem yang dirancang memenuhi batas gradasi zone 2, kerikil Karangasem yang dirancang memenuhi batas gradasi untuk ukuran butir maksimum 25 mm berdasarkan ASTM C 33-74, dan butiran styrofoam yang memiliki diameter 3 mm sampai 10 mm dengan berat satuan 22,89 kg/m³. Komposisi campuran yang digunakan adalah dalam perbandingan berat 1 : 2 : 3 (semen : pasir : kerikil) dan faktor air semen 0,5. Variasi penambahan styrofoam adalah 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40% terhadap volume campuran. Pengujian permeabilitas dilakukan dengan benda uji beton berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm pada umur benda uji 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien permeabilitas beton mengalami peningkatan akibat meningkatnya prosentase penambahan butiran styrofoam dalam campuran beton. Koefisien permeabilitas beton untuk penambahan butiran styrofoam 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% secara berurutan adalah $2,274 \times 10^{-9}$ cm/dt; $4,170 \times 10^{-9}$ cm/dt; $7,917 \times 10^{-9}$ cm/dt; $17,839 \times 10^{-9}$ cm/dt; dan $42,135 \times 10^{-9}$ cm/dt. Hubungan antara koefisien permeabilitas prosentase dengan penambahan styrofoam dalam campuran beton mengikuti garis regresi non linier.

Kata kunci : permeabilitas, styrofoam, beton

PERMEABILITY OF CONCRETE WITH STYROFOAM

Abstract: The purpose of this research is to investigate the relationship between coefficient permeability of concrete and volume of granular styrofoam added into a concrete mix. The styrofoam added to concrete is in order to have concrete with a smaller density.

The concrete was mixed using Portland cement type I, sand from Karangasem which was proportioned to meet zone 2 of gradation limit, gravels from the same source as sands which was also proportioned to meet gradation limit with maximum diameter of 25 mm according to ASTM C 33-74 and round granular styrofoam with diameter ranges from 3 mm to 10 mm having density of 22,89 kg/m³. Concrete mix was proportioned according to the ingredients weight that is 1:2:3, respectively for cement, sand and gravels with water cement ratio of 0.5. Variation of the styrofoam added into the concrete mix is 0%, 10%, 20%, 30%, and 40% of total mix volume. The specimens used in this experiment is standard concrete cylinders with diameter of 150 mm and 300 mm in height. The specimen was tested at 28 days of age.

The experimental results show that the coefficient of concrete permeability increases with increasing additional granular styrofoam into the concrete mix. The coefficient of permeability is $2,274 \times 10^{-9}$ cm/dt; $4,170 \times 10^{-9}$ cm/dt; $7,917 \times 10^{-9}$ cm/dt; $17,839 \times 10^{-9}$ cm/dt; and $42,135 \times 10^{-9}$ cm/dt for addition of styrofoam 0%, 10%,

20%, 30%, and 40%, respectively. The relationship between the coefficient of permeability and percentage of styrofoam added into the concrete follows a nonlinear regression curve.

Keywords: Permeability, styrofoam, concrete

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Beton merupakan material struktur yang sangat luas penggunaannya. Menurut berat satuannya beton dapat dibedakan atas beton normal dan beton ringan. Pertimbangan penggunaan beton ringan adalah agar beban konstruksi menjadi lebih kecil. Beton ringan untuk komponen struktur harus memenuhi persyaratan kekuatan material struktur. Pengurangan berat satuan beton dapat dilakukan dengan membuat beton dari agregat ringan, penambahan udara atau penambahan material yang mempunyai berat satuan yang kecil.

Pada saat ini telah dikembangkan beton ringan yang dibuat dari campuran air, semen, pasir, dan styrofoam atau yang dikenal dengan gabus putih. Penggunaan styrofoam dalam beton ringan dapat dianggap sebagai rongga udara, namun styrofoam memiliki butiran yang kedap air. Beton dengan styrofoam berat satuannya dapat dibuat hingga jauh lebih kecil dibandingkan dengan beton normal.

Kekuatan beton berkaitan dengan permeabilitas beton, semakin kecil koefisien permeabilitas beton maka kekuatan beton semakin besar. Untuk mengetahui permeabilitas beton dengan penambahan styrofoam perlu dilakukan suatu penelitian.

Tujuan dan Manfaat

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara permeabilitas beton dengan prosentase penambahan butiran styrofoam. Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai informasi mengenai penggunaan butiran styrofoam dalam pembuatan beton.

Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini: (1) campuran dibuat dengan jumlah semen 400 kg/m³ dengan perbandingan berat campuran 1 : 2 : 3 (semen : pasir : kerikil); (2) faktor air semen sebesar 0,5; (3) ukuran agregat maksimum 25 mm; (4) prosentase penggunaan styrofoam adalah 0%, 10%, 20%, dan 40% terhadap volume campuran; dan (5) diameter butiran styrofoam yang digunakan berkisar antara 3 – 10 mm.

MATERI DAN METODE

Beton

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SNI 03-2847-2002). Sifat-sifat positif dari beton antara lain relatif mudah dikerjakan serta dicetak sesuai dengan keinginan, tahan terhadap tekanan, dan tahan terhadap cuaca. Sedangkan sifat-sifat negatifnya antara lain tidak kedap terhadap air (permeabilitas beton relatif tinggi), kuat tarik beton rendah, mudah terdesintegrasi oleh sulfat yang dikandung oleh tanah (Murdock, 1991). Sifat positif dan negatif dari beton tersebut ditentukan oleh sifat-sifat material pembentuknya, perbandingan campuran, dan cara pelaksanaan pekerjaan. Berdasarkan berat satuannya beton dapat dibedakan atas beton normal dan beton ringan. Beton ringan adalah beton yang mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1900 kg/m³ (SNI 03-2847-2002). Beton ringan dapat diperoleh dengan membuat beton dari agregat ringan, penambahan udara, atau penambahan material yang mempunyai berat satuan yang kecil, seperti styrofoam. Beton dengan penambahan styrofoam dapat disebut beton-styrofoam

(*styrofoam concrete*) yang disingkat "sty-rocon".

Pemeriksaan Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Portland tipe I. Pemeriksaan yang dilakukan terhadap semen yang digunakan adalah pemeriksaan berat satuan.

Pemeriksaan Agregat Halus

Agregat halus yaitu pasir yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Karangasem. Pemeriksaan yang dilakukan terhadap pasir meliputi berat satuan, kadar air, berat jenis SSD, penyerapan air, kadar lumpur, dan modulus kehalusan pasir (FM). Pasir yang digunakan harus memenuhi persyaratan kandungan lumpur yakni, tidak boleh mengandung lumpur lebih besar dari 5% (SNI 03-1750-1990). Gradasi pasir dirancang memenuhi zone 2 berdasarkan SNI 03-2834-2000. Umumnya modulus kehalusan pasir untuk beton berkisar antara 1,5-3,8 (Mulyono, 2003).

Pemeriksaan Agregat Kasar

Agregat kasar yaitu kerikil yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Karangasem. Pemeriksaan yang dilakukan terhadap kerikil meliputi berat satuan, kadar air, berat jenis SSD, penyerapan air, kadar lumpur, daya tahan terhadap keausan, dan modulus kehalusan (FM). Kerikil yang digunakan harus memenuhi persyaratan kandungan lumpur dan daya tahan terhadap keausan yakni, tidak boleh mengandung lumpur lebih besar dari 1% dan tidak boleh kehilangan berat lebih dari 50% bila dites menggunakan mesin pengaus Los Angeles (SNI 03-1750-1990). Distribusi butiran kerikil yang dipakai untuk pembuatan beton dirancang sedemikian rupa sehingga memenuhi batas gradasi untuk ukuran butir maksimum 25 mm berdasarkan ASTM C 33-74. Umumnya modulus

kehalusan agregat kasar (kerikil) yang digunakan pada campuran beton berkisar antara 5,0-8,0 (Mulyono, 2003).

Styrofoam

Styrofoam atau *expanded polystyrene* dikenal sebagai gabus putih yang biasanya digunakan untuk membungkus barang elektronik. *Polystyrene* sendiri dihasilkan dari *styrene* ($C_6H_5CH_2$), yang mempunyai gugus *phenyl* (enam cincin karbon) yang tersusun secara tidak teratur sepanjang garis karbon dari molekul. Penggabungan acak dari benzena mencegah molekul membentuk garis yang sangat lurus sehingga hasilnya merupakan *polyester* mempunyai bentuk yang tidak tetap, transparan dan dalam berbagai bentuk plastik. *Polystyrene* merupakan bahan yang baik ditinjau dari segi mekanis maupun suhu, namun bersifat agak rapuh dan lunak pada suhu dibawah $100^{\circ}C$ (Billmeyer, 1984). *Polystyrene* memiliki berat jenis sampai 1050 kg/m^3 , kuat tarik sampai 40 MN/m^2 , modulus lentur sampai 3 GN/m^2 , modulus geser sampai $0,99 \text{ GN/m}^2$, angka poisson 0,33 (Crawford, 1998). Dalam bentuknya yang *granular*, styrofoam atau *expended polystyrene* memiliki berat satuan yang sangat kecil yaitu berkisar antara 13 – 22 kg/m^3 .

Selain ringan styrofoam juga memiliki kemampuan menyerap air yang sangat kecil (kedap air). Penggunaan styrofoam dalam beton dapat dianggap sebagai rongga udara. Namun keuntungan menggunakan styrofoam dibandingkan menggunakan rongga udara dalam beton berongga adalah styrofoam mempunyai kekuatan tarik. Dengan demikian, selain akan membuat beton menjadi ringan dapat juga bekerja sebagai serat yang rapat meningkatkan kemampuan kekuatan dan khususnya daktilitas beton. Kerapatan atau berat satuan beton dengan campuran styrofoam dapat diatur dengan mengontrol jumlah styrofoam yang digunakan dalam beton untuk memperoleh beton dengan berat satuan yang lebih kecil. Namun kuat tekan beton yang diperoleh tentunya akan lebih rendah.

Pembuatan Benda Uji

Benda uji untuk pengujian permeabilitas dibuat dalam bentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Campuran beton dibuat dengan menggunakan semen Portland tipe I dengan perbandingan berat 1 : 2 : 3 (semen : pasir : kerikil). Berat semen yang digunakan adalah 400 kg/m^3 dengan faktor air semen tetap pada masing-masing perlakuan yaitu sebesar 0,5. Jumlah benda uji yang dibuat adalah 6 buah untuk setiap variasi penambahan styrofoam (0%, 10%, 20%, 30% dan 40% terhadap volume campuran) atau jumlah keseluruhan sebanyak 30 buah benda uji.

Pengujian Kedalaman Rembesan Air

Pemeriksaan kedalaman rembesan air dilakukan dengan membelah beton menjadi dua bagian pada arah panjang. Setelah beton dibelah menjadi dua bagian, kemudian diukur kedalaman rembesan air maksimum.

Pengujian Permeabilitas

Permeabilitas beton dapat diartikan sebagai kemampuan beton untuk Mengalirkan air melalui pori-porinya (Mehta, 1986). Permeabilitas dapat diukur dengan menentukan tingkat aliran air yang melalui benda tersebut yang nilainya dinyatakan sebagai koefisien permeabilitas k_p (cm/dt). Semakin kecil koefisien permeabilitas beton maka kekuatan beton semakin tinggi. Besar kecilnya koefisien permeabilitas beton menyatakan mudah tidaknya beton dilalui air. Semakin tinggi koefisien permeabilitas semakin mudah dilalui air. Pengujian permeabilitas beton dilakukan pada umur benda uji 28 hari. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi volume perembesan air di bawah tekanan yang tinggi ke dalam benda uji serta tinggi air yang meresap ke dalam beton setelah benda uji dibelah sehingga dapat diketahui koefisien permeabilitas dari benda uji tersebut. Sebelum dilakukan pengujian permeabilitas terlebih dahulu permukaan tepi atas beton tersebut dikasarkan

kira-kira diameter 100 mm untuk menghilangkan permukaan beton yang tidak dapat ditembus (*impermeabel*), dan dilakukan pengecatan permukaan selimut silinder beton dengan pelapis kedap air (cat kolam) untuk mengurangi keluarnya rembesan air pada sisi panjang silinder beton. Uji permeabilitas dilakukan dengan menggunakan mesin uji *concrete permeability apparatus C-530*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Material Pembentuk Beton

Standar perencanaan stuktur beton berulang mensyaratkan agar material pembentuk beton seperti semen, pasir, kerikil dan air harus memenuhi persyaratan yang berlaku. Oleh karena itu, sebelum dipergunakan semua material tersebut dilakukan pemeriksaan sifat-sifat fisis dan mekaniknya dan hasilnya ditampilkan berikut ini.

Semen

Dari hasil pemeriksaan yang dilakukan terhadap semen yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh berat satuan semen sebesar 1312 kg/m^3 .

Agregat Halus

Dari hasil pemeriksaan agregat halus (pasir) yang digunakan diperoleh: (1) berat satuan 1508 kg/m^3 ; (2) kadar air 10,132%; (3) berat jenis SSD $2,439 \text{ gr/cm}^3$; (4) penyerapan air 0,806%; (5) kadar lumpur 1,099% yang berarti bahwa pasir yang digunakan telah memenuhi persyaratan karena pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih besar dari 5% (SNI 03-1750-1990); dan (6) gradasi pasir dirancang memenuhi zone 2 berdasarkan SNI 03-2834-2000 dengan modulus kehalusan pasir (FM) adalah sebesar 2,74. Modulus kehalusan pasir ini masuk dalam kisaran modulus kehalusan pasir yang umum untuk beton yaitu antara 1,5-3,8 (Mulyono, 2003).

Agregat Kasar

Dari hasil pemeriksaan agregat kasar (kerikil) yang digunakan diperoleh: (1) berat satuan 1434 kg/m³; (2) kadar air 1,626%; (3) berat jenis SSD 1,993 gr/cm³; (4) penyerapan 1,54 %; (5) kadar lumpur 0,2% yang berarti kerikil yang digunakan telah memenuhi persyaratan dimana kerikil tidak boleh mengandung lumpur lebih besar dari 1% (SNI 03-1750-1990); (6) daya tahan terhadap keausan 16,878% yang berarti kerikil yang digunakan telah memenuhi persyaratan dimana agregat kasar tidak boleh kehilangan berat lebih dari 50% bila menggunakan mesin pengaus Los Angeles (SNI 03-1750-1990); (7) distribusi butiran kerikil yang dipakai untuk pembuatan beton dirancang sedemikian rupa sehingga memenuhi batas gradasi untuk ukuran butir maksimum 25 mm berdasarkan ASTM C 33-74. Modulus kehalusan (FM) kerikil rancangan tersebut adalah 6,525. Modulus kehalusan kerikil ini masuk dalam kisaran modulus kehalusan kerikil yang umum untuk beton yaitu antara 5,0-8,0 (Mulyono, 2003).

Styrofoam

Dari hasil pemeriksaan yang dilakukan terhadap styrofoam yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh berat satuan styrofoam adalah 22,89 kg/m³.

Slump

Salah satu pengukuran pada kondisi beton basah adalah nilai slump. Pengukuran nilai slump dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kekentalan (*consistency*) adukan beton, yang selanjutnya dapat menggambarkan kemudahan pengerjaan beton (*workability*). Hasil pengukuran nilai slump dapat dilihat pada Tabel 1. yang menunjukkan bahwa semakin besar persentase penambahan styrofoam rata-rata nilai slump semakin besar. Rata-rata nilai slump masih konstan pada penambahan styrofoam 10%, namun mulai meningkat setelah penambahan 20%.

Tabel 1 Nilai Slump Rata-rata

No	Variasi penambahan styrofoam (%)	Nilai slump rata-rata (cm)
1	0	1,00
2	10	1,00
3	20	1,22
4	30	1,53
5	40	1,73

Rata-rata peningkatan nilai slump mencapai 0,18 cm untuk setiap variasi penambahan styrofoam 10%. Hal ini disebabkan karena styrofoam memiliki bentuk butiran bulat dan elastis serta tekstur permukaan yang halus dan licin, sehingga gesekan antara pasta semen dengan permukaan styrofoam berkurang.

Berat Satuan Beton

Hasil pemeriksaan berat satuan beton rata-rata untuk masing-masing variasi penambahan styrofoam dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Berat Satuan Beton Rata-rata

No.	Variasi penambahan styrofoam (%)	Berat satuan beton rata-rata (kg/m ³)
1	0	2188
2	10	2041
3	20	2025
4	30	1836
5	40	1821

Dari Tabel 2 terlihat bahwa penambahan styrofoam menurunkan berat satuan beton. Rata-rata penurunan berat satuan mencapai 91,71 kg/m³ untuk setiap variasi penambahan styrofoam. Pada penambahan styrofoam 0%, 10% dan 20% berat satuan beton berturut-turut 2188 kg/m³, 2041 kg/m³, dan 2025 kg/m³. Berat satuan ini masih masuk kedalam kategori berat satuan beton normal karena lebih besar dari 1900 kg/m³. Sedangkan untuk penambahan styrofoam 30% dan 40% berat satuan

beton berturut-turut 1836 kg/m³ dan 1821 kg/m³ yang tergolong sebagai beton ringan karena menurut SNI 03-2847-2002 beton ringan adalah beton yang mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1900 kg/m³.

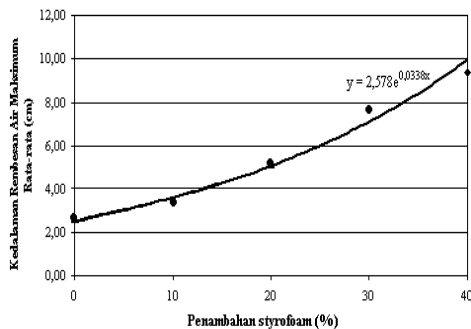
Kedalaman Rembesan Air

Hasil pemeriksaan kedalaman rembesan air maksimum rata-rata dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Kedalaman Rembesan Air Maksimum Rata-rata

No.	Penambahan styrofoam (%)	Kedalaman rembesan air maksimum rata-rata (cm)
1	0	2,60
2	10	3,43
3	20	5,17
4	30	7,72
5	40	9,40

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa penambahan styrofoam meningkatkan kedalaman rembesan air. Hubungan antara kedalaman rembesan air dengan prosentase penambahan styrofoam yang diperoleh dari metode regresi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Hubungan antara Kedalaman Rembesan Air dengan Prosentase Penambahan Styrofoam

Pada Gambar 1 terlihat bahwa hubungan antara kedalaman rembesan air dengan prosentase penambahan styrofoam

berupa persamaan $y = 2,5780 e^{0,0338X}$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9885. Besarnya keeratan hubungan antara prosentase penambahan styrofoam dengan kedalaman rembesan air adalah 99,42%. Jadi dapat disimpulkan bahwa penambahan styrofoam berpengaruh sangat besar terhadap kedalaman rembesan air pada beton.

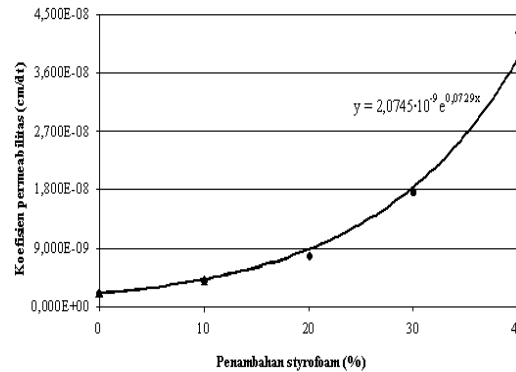
Permeabilitas

Hasil perhitungan koefisien permeabilitas rata-rata benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Koefisien Permeabilitas Rata-rata

No.	Variasi penambahan styrofoam (%)	Koefisien permeabilitas rata-rata (cm/dt)
1	0	$2,274 \cdot 10^{-9}$
2	10	$4,170 \cdot 10^{-9}$
3	20	$7,917 \cdot 10^{-9}$
4	30	$17,839 \cdot 10^{-9}$
5	40	$42,135 \cdot 10^{-9}$

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa peningkatan prosentase penambahan styrofoam meningkatkan koefisien permeabilitas beton. Hubungan antara koefisien permeabilitas beton dengan prosentase penambahan styrofoam yang diperoleh dari metode regresi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Hubungan antara Koefisien Permeabilitas dengan Prosentase Penambahan Styrofoam

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa hubungan antara prosentase penambahan styrofoam dengan koefisien permeabilitas berupa persamaan :

$$y = 2,0754 \times 10^{-9} e^{0,0729X}$$

dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9937. Besarnya keeratan hubungan antara prosentase penambahan styrofoam dengan koefisien permeabilitas adalah 99,68%. Jadi dapat disimpulkan bahwa penambahan styrofoam berpengaruh sangat besar terhadap koefisien permeabilitas beton. Gambar 2 juga menunjukkan bahwa peningkatan prosentase penambahan styrofoam ke dalam beton menyebabkan koefisien permeabilitas menjadi semakin tinggi yang berarti beton semakin mudah dilalui air. Hal ini terjadi karena styrofoam yang memiliki permukaan yang halus dan kedap air menyebabkan hubungan antara pasta semen, agregat, dan styrofoam tidak kompak, sehingga akan menimbulkan rongga udara atau ruang pori di sekitar daerah transisi (*transision zone*) yaitu batas antara styrofoam dengan pasta yang dapat terbentuk setelah beton mengeras. Rongga udara ini merupakan peluang untuk masuknya air dari luar ke dalam beton. Sehingga semakin banyak styrofoam masuknya air makin besar.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- (1) semakin banyak penambahan styrofoam ke dalam beton mengakibatkan nilai slump semakin meningkat. Rata-rata peningkatan nilai slump mencapai 0,18 cm untuk setiap penambahan styrofoam 10%;
- (2) semakin banyak penambahan styrofoam ke dalam beton berat satuan beton semakin kecil. Rata-rata penurunan berat satuan mencapai 91,71 kg/m³ untuk setiap penambahan styrofoam 10%. Pada penambahan styrofoam 10% dan 20% berat satuan be-

ton secara berurutan adalah 2041 kg/m³ dan 2025 kg/m³, masih tergolong beton normal. Sedangkan pada penambahan styrofoam 30% dan 40% berat satuan beton berturut-turut 1836 kg/m³ dan 1821 kg/m³, tergolong sebagai beton ringan;

- (3) koefisien permeabilitas beton meningkat dengan penambahan styrofoam ke dalam beton. Hubungan antara prosentase penambahan styrofoam dalam campuran beton dengan koefisien permeabilitas dapat dinyatakan dengan persamaan $y = 2,0754 \times 10^{-9} e^{0,0729X}$.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini maka saran yang dapat diberikan: (1) perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan beton ringan tetapi koefisien permeabilitasnya tidak mengalami peningkatan secara drastis; (2) perlu dilakukan pengujian beton pada umur dan perawatan yang lebih lama untuk mengetahui pengaruh penambahan styrofoam dalam waktu lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1990. *Standar Nasional Indonesia untuk Spesifikasi Agregat Beton*. SNI 03-1750-1990. Jakarta.
- Anonim. 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. SNI 03-2834-2000. Jakarta.
- Anonim. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. SNI 03-2847-2002. Jakarta.
- Mehta, P.K. 1986. *Structure, Properties, and Material*. Prentice Hall, New Jersey.
- Mulyono, T. 2003. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Murdock, L. J., Brook dan Hindarko. 1991. *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga.