

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN AGREGAT HALUS DARI MATERIAL LETUSAN GUNUNG MERAPI YOGYAKARTA PADA PERMEABILITAS BETON

oleh :

Haryo Koco Buwono

Dosen Tetap Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta

email: haryo@antisintesa.com

ABSTRAK: Beton adalah bahan bangunan yang terdiri dari komposisi pasir, kerikil atau batu pecah yang disatukan dengan bahan pengeras berupa pasta cair (semen dan air). Dengan proporsi yang tepat campuran tersebut menjadi bentuk plastis, akibat campuran terjadi panas hidrasi semen dan air, beton menjadi keras seperti batu. Pemanfaatan material Gunung Merapi pasca letusan yang mengakibatkan pendangkalan pada Sungai Krasak, Jogjakarta. Material Halus atau sering disebut agregat halus adalah bagian dari pembentuk beton. Sudah selayaknya bila dalam pemanfaatannya bisa membantu mengurangi dampak pendangkalan sungai yang bisa mengurangi pula dampak banjir disekitar sungai. Permeabilitas adalah rongga pori yang terjadi akibat panas hidrasi dalam beton, sehingga air yang tidak memproses dengan semen, berakibat bleeding ke permukaan beton atau terperangkap dalam beton. Banyaknya rongga udara dalam beton semakin melemahkan kekuatan beton. Permeabilitas banyak dipengaruhi oleh Pasta semen (tekstur kehalusan butir), water per cement ratio, dan derajat hidrasi. Permeabilitas gel adalah 1/1000 dari jumlah pasta. Gel pores tidak berkontribusi permeabilitas beton, tetapi capillary cavities sangat berpengaruh. Hasil Analisa Agregat Halus Material letusan Gunung Merapi ini didapatkan: Modulus Halus Butir 3,034, Gradasi Golongan II, berat Jenis SSD 2,71, Kadar Lumpur 0,5 dan absorpsi 2,60. Dari hasil ini dengan kombinasi w/c dan s/c pada mix desain didapatkan: penggunaan Agregat Halus dari Material Letusan Gunung Merapi dapat mengurangi absorpsi pada air yang digunakan sehingga permeabilitas dapat membantu meningkatkan kinerja beton. Makin tinggi faktor air semen dalam adukan, makin tinggi koefisien permeabilitasnya.

Kata Kunci: Beton, agregat halus, permeabilitas, absorpsi, material letusan merapi

ABSTRACT: Concrete is a construction material that consists of the composition of sand, gravel or crushed stone held together with a paste of liquid hardener materials (cement and water). With the right proportions to form the plastic mixture, this occurs due to heat of hydration of cement and water, the concrete becomes hard as stone. Utilization of material post-eruption of Mount Merapi, which resulted in siltation in the river of Krasak, Jogjakarta. Fine material is often called the fine aggregate is part of forming concrete. It is appropriate when its use can help reduce the impact of siltation of the river which could also reduce the impact of flooding around the river. Permeability is the pore cavities that occur due to heat of hydration in concrete, so water does not process the cement, resulting in bleeding into the concrete surface or trapped in the concrete. The number of air voids in concrete increasingly weaken the strength of concrete. Permeability is much influenced by the cement paste (the texture fineness of grain), water per cement ratio, and degree of hydration. Permeability of the gel is 1 / 1000 of the amount of pasta. Gel pores do not contribute to the permeability of concrete, but the capillary cavities are very influential. Results Analysis of Fine Aggregate Materials eruption of Mount Merapi is obtained: 3.034 Modulus of Fine Grain, Gradation of Class II, Type SSD weight of 2.71, 0.5 and absorption levels Mud 2.60. From these results with the combination of w/c and s/c in the mix design obtained: the use of Fine Aggregate Materials eruption of Mount Merapi may reduce the absorption of the water used so that the permeability can help improve the performance of concrete. The higher the water factor in the cement slurry, the higher the coefficient of permeability.

Keyword: Concrete, agregate, concrete strength, SiO₂

LATAR BELAKANG

Beton adalah bahan bangunan yang terdiri dari komposisi pasir, kerikil atau batu pecah yang disatukan dengan bahan pengeras berupa pasta cair (semen dan air). Dengan proporsi yang tepat campuran tersebut menjadi bentuk plastis, akibat campuran terjadi panas hidrasi semen dan air, beton menjadi keras seperti batu^[1].

Beton mempunyai 3 katagori utama yaitu beton konvensional (normal), beton ringan, dan beton mutu tinggi. Beton Mutu Tinggi adalah beton normal yang ditambahkan bahan aditif untuk meningkatkan mutu beton. Di Indonesia, bahan aditif yang sering digunakan adalah *silicafume* dan *fly ash*.

Prinsip dari penambahan bahan aditif adalah bertambahnya kandungan *silica (s/c)* dalam volume beton akan meningkatkan kuat tekan beton ($f'c$). Sedangkan hubungan beton terhadap w/c (faktor air semen) adalah semakin bertambahnya w/c dalam volume beton, kuat tekan beton semakin menurun^[1].

Sebagaimana Sifat beton adalah:

1. Sifat mudah dikerjakan berarti harus menambahkan banyak air dalam volume beton (suatu komposisi),
2. Sifat meningkatkan mutu beton berarti harus mengurangi komposisi air dalam volume beton,

Pemanfaatan material Gunung Merapi pasca letusan yang mengakibatkan pendangkalan pada Sungai Krasak, Jogjakarta. Material Halus atau sering disebut agregat halus adalah bagian dari pembentuk beton. Sudah selayaknya bila dalam pemanfaatannya bisa membantu mengurangi dampak pendangkalan sungai yang bisa mengurangi pula dampak banjir disekitar sungai.

BETON

Beton adalah secara luas merupakan material bangunan dalam ketekniksipilan, karena beton sangat kuat dan cukup keras untuk pembangunan struktur yang baik terutama gedung^[6]. Beton terbagi menjadi 3 yaitu:

- a. Beton Biasa (Normal) yang mempunyai kekuatan antara 2000 sampai 6000 psi (13 sampai 40 MPa)^{[6][7]}.
- b. Beton Berkinerja Tinggi mempunyai kekuatan antara lain di atas 6000 psi (40 MPa)^[7] disebut beton bermutu tinggi (CEB/FIP 60 MPa), 80 MPa disebut beton bermutu sangat tinggi, dan 120 MPa beton bermutu ultra tinggi^[8].

Beton Berkinerja Tinggi sebagai bahan yang tahan korosi dan bagan kimia, maka digunakan pada struktur bangunan tinggi, beton prategang dan bangunan lepas pantai. Beton ini pada akhirnya rendah perawatan korelasinya rendah biaya bangunan.^[4]

Beton sangat terpengaruh oleh bahan dasarnya yaitu Semen, Agregat Kasar, Agregat Halus dan Air. Dua dekade terakhir, telah dikembangkan jenis bahan tambah (*admixtures* dan *additives*) untuk meningkatkan kinerja beton untuk semakin lebih mudah dikerjakan, lebih cepat dan atau lebih tinggi mutunya^[9].

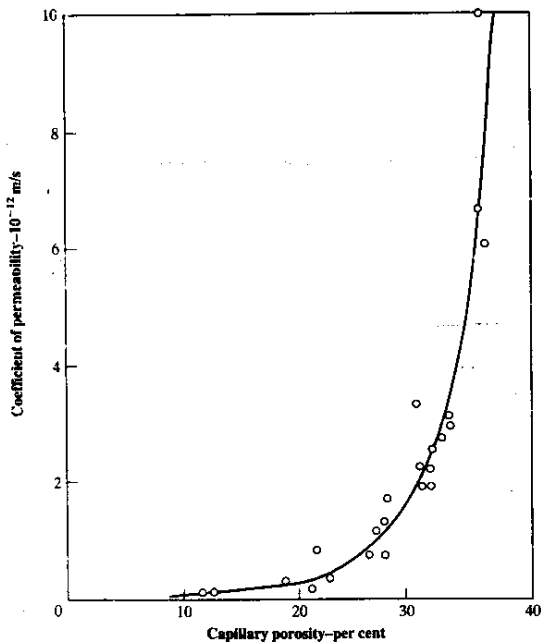
Faktor-faktor yang mempengaruhi beton bermutu baik: ^{[9][10][11][12]}

1. Karakteristik semen dan jumlahnya,
2. w/c (water per cement) rasio,
3. Kualitas agregat dan interaksinya dengan pasta semen,
4. Tambahan bahan kimia yang digunakan,
5. Tambahan material yang digunakan,
6. Pemilihan prosedur dan waktu pencampuran bahan susun beton,
7. Quality control.

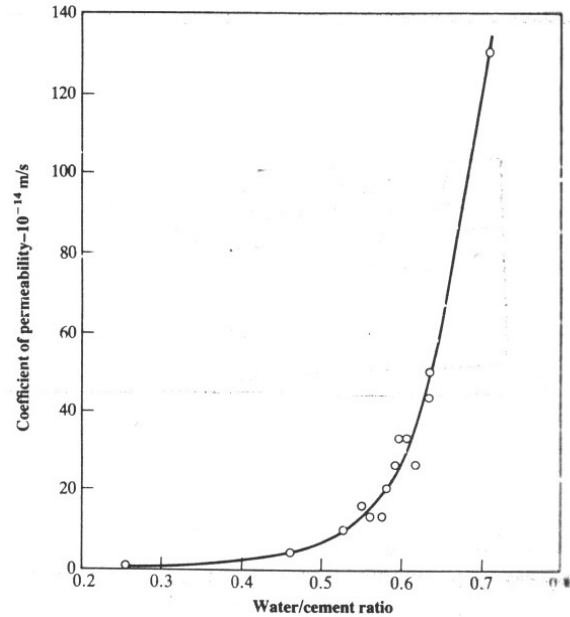
Disamping kuat tekan, beton dapat diperhatikan permasalahan tentang workability, durability, pumpability dan permeabilitas^[3]. Dalam penelitian ini yang diulas adalah kuat tekan dan permeabilitasnya.

PERMEABILITAS BETON

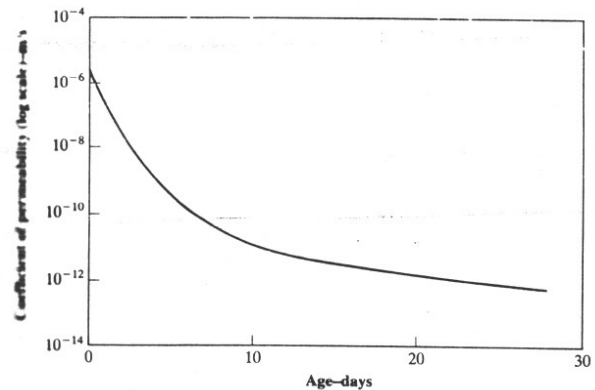
Pengertian permeabilitas adalah kemudahan dalam melewati gas atau cairan di dalam beton^[13]. Permeabilitas digunakan untuk pengecekan beton pada struktur air (misalnya bendung, DAM, Dermaga, dan lain-lain), dimana beton selalu dalam kondisi terendam air. Permeabilitas tidak dapat dilepaskan dari panas hidrasi yang terjadi saat terjadinya beton (pengerasan pasta semen berakibat *gel pores* dan *capillary cavities*^[14]).



Gambar 1. Hubungan antara koefisien permeabilitas dengan kapilar porositas dari pasta semen^[13].



Gambar 2. Hubungan antara permeabilitas dan water per cement ratio dari semen pasta mature^[13].



Gambar 3. Pengurangan permeabilitas dari pasta semen dengan progress dari hidrasi dengan water per cement ratio = 0,7^[13]

Permeabilitas adalah rongga pori yang terjadi akibat panas hidrasi dalam beton, sehingga air yang tidak memproses dengan semen, berakibat bleeding ke permukaan beton atau terperangkap dalam beton. Banyaknya rongga udara dalam beton semakin melemahkan kekuatan beton ^{[15][16]}.

Permeabilitas banyak dipengaruhi oleh Pasta semen (tekstur kehalusan butir), *water per cement ratio*, dan derajat hidrasi. Permeabilitas gel adalah 1/1000 dari jumlah pasta. Gel pores tidak berkontribusi permeabilitas beton, tetapi *capillary cavaties* sangat berpengaruh. Rumus permeabilitas (hukum Darcy) adalah sebagai berikut ini.^{[14][17]}

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{k \cdot \Delta h \cdot A}{L} \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan,

- dQ = Debit air yang dikumpulkan (m³/detik)
- dt = waktu yang dikumpulkan untuk berkumpulnya air (detik)
- k = koefisien permeabilitas (m/detik)
- Δh = tinggi air (m)
- A = luas penampang melintang benda uji (m²)
- L = tebal benda uji sejajar arah aliran (m)

Dalam mendapatkan harga permeabilitas diperlukan pada umur curing diatas 28 hari, tetapi jika menggunakan sample berupa silinder 7 hari dapat dilaksanakan^[18]. Rumus tersebut untuk mendapatkan koefisien yang terjadi akibat penelitian permeabilitas. Sebagai gambaran adalah berupa table perkembangan umur terhadap koefisien permeabilitas pada $w/c = 0.7$ sebagai berikut ini.

Tabel 1. Koefisien permeabilitas terhadap umur beton, $w/c = 0,7$ ^[14]

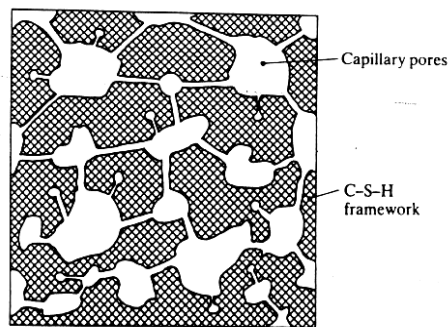
| Umur dalam hari | Koefisien permeabilitas, K (m/detik) |
|-----------------|--------------------------------------|
| <i>Fresh</i> | 2×10^{-4} |
| 5 | 4×10^{-10} |
| 6 | 1×10^{-10} |
| 8 | 4×10^{-11} |
| 13 | 5×10^{-12} |
| 24 | 1×10^{-12} |
| <i>Ultimate</i> | 6×10^{-13} |

Sumber: *Concrete Technology*, M.S. Shetty, table 9.1, page: 344

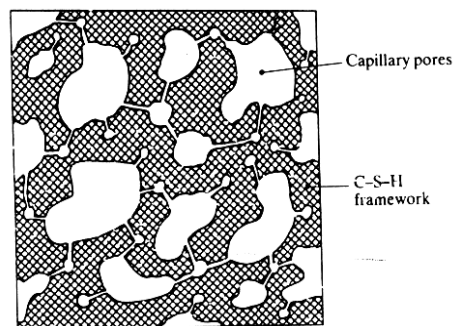
Permeabilitas dipengaruhi oleh pematatan beton, porositas beton yang diakibatkan oleh adanya rongga udara, kapilaritas, viskositas dan tekanan dari cairan yang tertahan. Derajat permeabilitas diukur dari kemampuan cairan atau air untuk melewati beton dengan perbedaan tekanan hidrolik antara permukaan yang berlawanan pada elemen beton ^[12]

Permeabilitas yang tinggi pada mortar atau beton mempunyai alasan-alasan sebagai berikut ini.^[12]

- a) formasi dari *micro-crack* tergantung pada *long-term drying shrinkage*,
- b) Ikatan permukaan antara agregat dan pasta semen terhadap ketidaksamaan *thermal stress*,
- c) Retakan secara keseluruhan berakhir pada *structural stresses*,
- d) Tergantung pada *volume change* yang menyebabkan dalam beton dihitung dari alasan *variasi minor*.
- e) Eksistensi udara terperangkap tergantung pada cara pematatannya.



(a)



(b)

Gambar 4. skema penggambaran dari material beton: (a) permeabilitas tinggi – pipa kapiler besar menghubungkan antar pori. (b) permeabilitas rendah – pipa kapiler kecil menghubungkan antar pori.^[14]

Tabel 2. Harga tipical dari permeabilitas beton yang digunakan pada bendungan^[14]

| Kadar semen (kg/m ³) | w/c rasio | Permeabilitas (10-12) m/detik |
|----------------------------------|-----------|-------------------------------|
| 156 | 0.69 | 8 |
| 151 | 0.74 | 24 |
| 138 | 0.75 | 35 |
| 223 | 0.46 | 28 |

Sumber: *Concrete Technology, MS Shetty, Table 9.3, page 346*

Pori beton dapat dikategorikan sebagai berikut^[12]

1. *Small Air Voids*, pori terperangkap dengan ukuran 0,003 – 0,004 in (0,07 – 0,10 mm),
2. *Large Air Voids*, pori yang terperangkap dalam beton dengan diameter kurang lebih 0,5 in (12,7 mm)
3. *Capillary voids*, yaitu celah berbentuk pipa kapiler Semakin besar w/c semakin besar kapilaritas. Hal tersebut disebabkan kandungan semen yang diikat oleh air sedikit, sisa air yang tidak terikat masih ada karena tidak bereaksi maka bleeding. Ukuran kapiler w/c rendah berkisar 3 – 5 micron meter.
4. *Gel pores*, yaitu pori yang terjadi pada gel yang terdapat pada beton yang sudah mengeras. Gel merupakan hasil dari proses hidrasi semen. Hidrasi semen ke dalam yang tidak sempurna menyebabkan Gel Pores. Ukuran antara 5 – 20 Anstrom.
5. *Aggregate pores*, yaitu agregat pembentuk beton yang porus, menyebabkan beton berpori.

Dalam beton yang menggunakan *pozzolanic material* (misal: *Silicafume*) dapat mereduksi permeabilitas dengan optimal. Hal ini tergantung pada konversi dari kalsium hidroksida^[14].

METODE PENGUJIAN PERMEABILITAS

Pengujian permeabilitas dilakukan di Balai Penelitian Bahan Bangunan Teknik (B4T) Bandung. Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui daya rembes beton umur 56 hari terhadap tekanan air.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut ini^[11].

1. Benda uji berupa balok dengan ukuran 20x20x12 cm², dikeluarkan dari tempat *curing* setelah umur 56 hari.
2. Kasarkan permukaan sampel menggunakan alat bentuk lingkaran pada bagian tengah dengan diameter 10 cm, yang kemudian dilapisi dengan *vaseline*, untuk melindungi beton yang telah kasar.
3. Letakkan benda uji pada alat uji permeabilitas dengan permukaan yang kasar menempel pada tabung yang akan diisi air bertekanan.
4. Operasikan alat uji permeabilitas dengan tekanan awal 1 bar, ditahan selama 24 jam dan catat jumlah air yang turun dari tabung ukur.
5. Naikkan tegangan pada tabung menjadi 3 bar, dan ditahan selama 24 jam dan catat jumlah air yang turun.
6. Tambahkan tekanan hingga mencapai 7 bar, kemudian di tahan selama 48 jam. Catat jumlah air yang keluar, yang merupakan jumlah air kumulatif.
7. Angkat benda uji setelah melewati pengujian 96 jam dan potong dengan alat potong beton.
8. Ukur penetrasi yang terjadi pada penampang benda uji tanpa memperhatikan luas tampang permeabilitas yang terjadi.

PEMERIKSAAN AGREGAT HALUS

Agregat halus yang digunakan adalah Pasir Kali Krasak, Kulon Progo, Yogyakarta, dari akibat material letusan Merapi. Pengujian agregat halus dilaksanakan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta, dengan hasil sebagai berikut ini.

Tabel 3. Analisa Agregat Halus

| Analisa Agregat Halus | Satuan | Hasil | Syarat |
|-----------------------|--------|---------|------------|
| Modulus Halus Butir | - | 3.034 | 1.5 - 3.8 |
| Gradasi Pasir | - | Gol. II | Gol I - II |
| Berat Jenis Solid | g/mL | 2.70 | - |
| Berat Jenis SSD | g/mL | 2.71 | - |

| | | | |
|--------------------|---|------|---|
| Kadar Lumpur pasir | % | 0.5 | - |
| Absorbsi | % | 2.60 | - |

Sumber: Penelitian Lab. Bahan Jurusan Sipil UMJ (lampiran)

HASIL PENGUJIAN PERMEABILITAS

Pengujian Permeabilitas dan belah beton dilaksanakan di laboratorium B4T Bandung. Hasil Permeabilitas beton sebagai berikut ini.

Tabel 4. Hasil Permeabilitas beton

| w/c | s/c | Sample 1 | | | | Sample 2 | | | |
|-----|-----|-----------------|----|-----|----------------|-----------------|----|-----|----------------|
| | | Perembesan (ml) | | | Penetrasi (cm) | Perembesan (ml) | | | Penetrasi (cm) |
| | | 1 | 3 | 7 | | 1 | 3 | 7 | |
| 0.3 | 15 | 5 | 7 | 10 | 1.0 | 5 | 10 | 18 | 1.5 |
| | 10 | 10 | 14 | 19 | 1.0 | 8 | 13 | 23 | 2.0 |
| | 5 | 12 | 22 | 26 | 2.0 | 14 | 23 | 28 | 3.0 |
| | 0 | 12 | 25 | 30 | 3.7 | 14 | 30 | 40 | 3.2 |
| 0.4 | 15 | 12 | 16 | 24 | 2.0 | 14 | 18 | 28 | 2.6 |
| | 10 | 14 | 20 | 54 | 5.5 | 13 | 21 | 40 | 4.0 |
| | 5 | 14 | 23 | 46 | 5.8 | 13 | 20 | 64 | 7.0 |
| | 0 | 13 | 21 | 78 | 9.8 | 14 | 25 | 85 | 10 |
| 0.5 | 15 | 12 | 18 | 50 | 6.0 | 13 | 22 | 74 | 7.3 |
| | 10 | 38 | 51 | 73 | Tembus | 36 | 49 | 83 | Tembus |
| | 5 | 10 | 22 | 36 | 3.9 | 5 | 24 | 38 | 4.0 |
| | 0 | 15 | 65 | 130 | tembus | 12 | 50 | 120 | Tembus |
| 0.6 | 15 | 10 | 16 | 85 | 11.3 | 10 | 17 | 78 | 9.2 |
| | 10 | 4 | 9 | 44 | 4.7 | 7 | 14 | 70 | 8.1 |
| | 5 | 9 | 20 | 89 | 11.2 | 14 | 28 | 72 | 10.0 |
| | 0 | 17 | 28 | 95 | 11.8 | 19 | 24 | 90 | 11.5 |

Sumber: Data hasil penelitian di B4T Bandung

Dari hasil di atas terdapat kejanggalan hasil penetrasi dimana ada data yang gagal (tembus) dan bentukan data cukup variatif.

Berdasarkan Formulasi Darcy untuk mencari koefisien permeabilitas (k) yaitu^{[14][46]},

$$k = [dl/dh] Q/(A.t)$$

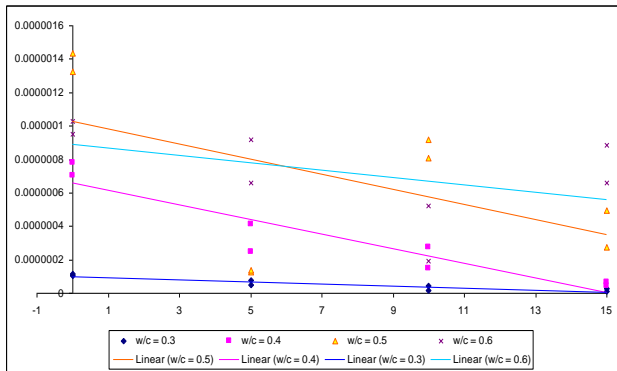
dimana:

- k = koefisien Permeabilitas, cm/det
- Q = Total air permeable, cm³
- A = luas penampang benda uji, cm²
- dh = P/(ρg), dengan P = 7 bar, ρ = 1 gr/cm³, g = 980.665 cm/det², cm
- dl = penetrasi, cm
- t = waktu yang diperlukan dalam mencapai penetrasi, det

didapatkan harga k sebagai berikut ini

Tabel 5. harga k₂ masing-masing sample

| w/c | s/c | k (10 ⁻⁰⁹) cm/s (1) | k (10 ⁻⁰⁹) cm/s (2) |
|-----|-----|------------------------------------|------------------------------------|
| 0.3 | 15 | 9.19643 | 24.8304 |
| | 10 | 17.4732 | 42.3036 |
| | 5 | 47.8214 | 77.2500 |
| | 0 | 102.080 | 117.714 |
| 0.4 | 15 | 44.1429 | 66.9500 |
| | 10 | 273.134 | 147.143 |
| | 5 | 245.361 | 412.000 |
| | 0 | 702.975 | 781.696 |
| 0.5 | 15 | 275.893 | 496.791 |
| | 10 | 805.607 | 915.964 |
| | 5 | 129.118 | 139.786 |
| | 0 | 1434.64 | 1324.29 |
| 0.6 | 15 | 883.317 | 659.936 |
| | 10 | 190.182 | 521.437 |
| | 5 | 916.700 | 662.143 |
| | 0 | 1030.92 | 951.830 |



Gambar 5. Grafik Hasil Koefisien Permeabilitas

KESIMPULAN

Hasil yang dapat disimpulkan adalah dari koefisien permeabilitas dibandingkan dengan s/c dan w/c, yang diuraikan sebagai berikut ini.

- a. Penggunaan Agregat Halus dari Material Letusan Gunung Merapi dapat mengurangi absorpsi pada air yang digunakan sehingga permeabilitas dapat membantu meningkatkan kinerja beton .

- b. Makin tinggi faktor air semen dalam adukan, makin tinggi koefisien permeabilitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R.S. Varshney BSc. BE (hons)(civil) ME,Ph.D *“Concrete Technology”*, 1982
- [2] Francois de Larrard, *“A Method for Proportioning High-Strength Concrete Mixtures”*, Cement, Concrete and Aggregates, CCAGDP, Vol. 12 No. 2, pp.47-52, Summer 1990
- [3] FX. Supartono, DR. Ir., *“Design Considerations For Concrete Mixes”*, Bahan Kuliah, 1998
- [4] M.J. Shannag, *“High Strength Concrete Containing Natural Pozzolan and Silica Fume”*, Jordan University of Science and Technology, June 2000
- [5] Departemen Pekerjaan Umum, *“Metode Pengujian Kuat Tekan Beton SKSNI T-15-1990-03”*, Penerbit Yayasan LPMB, Bandung, 1991
- [6] Gary R. Mass, *“Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash”*, ACI 211.4B, Title no 90-M31, May-June 1993
- [7] F.X. Supartono, DR. Ir., *“Beton Berkinerja Tinggi”*, Seminar HAKI, Jakarta Agustus 1998
- [8] F. Papworth, *“Production and Use of Microsilica”*, Pennsylvania, March 1990
- [9] FX. Supartono, DR. Ir., *“Rancang Campur Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Formulasi Feret yang Diidentifikasi pada Kondisi Lokal”*, Jurnal Teknologi No.1, Tahun X, pp. 52-58, Maret 1996
- [10] FX. Supartono, DR. Ir., *“Korelasi Model Eksponensial untuk Rangkak Beton dengan Formulasi Empiris CEB-FIP”*, Jurnal Teknologi No. 4, Tahun X, Desember 1996
- [11] FX. Supartono – Haifani Eka Y., *“Effect of Silica Content in Silicafume on The Performance on High Strength Concrete”*,

International Seminar High Performance Concrete & Underwater concreting, March 2001.

- [12] Edward G. Nawy, ***“Fundamentals of High Strength Performance Concrete”***, Longman, 1996.
- [13] M.S. Shetty, ***“Concrete Technology - Teory and practice”***, S. Chand, 2001.