KUALITAS BETON BERPORI DENGAN BAHAN TAMBAH *SILICA FUME* SEBAGAI BAHAN PERKERASAN KAKU YANG RAMAH LINGKUNGAN

Mazaya Btari Gina¹, Amalia²

¹Mahasiswa Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta, Depok – 16425, Indonesia

²Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta, Depok – 16425, Indonesia,
Email ¹mazayabtari@gmail.com, ²amaliaiva@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh penggunaan *silica fume* terhadap kualitas beton berpori sebagai bahan perkerasan kaku. Kualitas beton segar yang diuji meliputi *slump* dan berat isi beton segar. Sedangkan, kualitas beton keras yang diuji meliputi berat isi beton keras, kuat tekan, kuat tarik belah, kuat tarik lentur, modulus elastisitas, tegangan regangan dan laju infiltrasi. Metode yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan membuat benda uji beton berpori sesuai dengan ACI 522R-10. Tiap Benda uji dibuat dengan faktor air semen sebesar 0,27. Variasi terdapat pada presentase *silica fume* pada campuran beton yaitu sebanyak 0%, 3%, 6%, dan 9% dari berat semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton berpori dengan *silica fume* 9% menghasilkan nilai tertinggi pada hampir semua pengujian untuk beton segar dan keras, kecuali pada nilai regangan dan laju infiltrasi. Nilai regangan tertinggi terdapat pada beton berpori dengan *silica fume* 6% dan nilai laju infiltrasi tertinggi terdapat pada beton berpori dengan *silica fume* 0%. Pengaruh *silica fume* terhadap kualitas beton segar dan keras dianalisa dengan uji regresi linear. Hasil regresi linear menunjukkan bahwa *silica fume* sangat berpengaruh pada kualitas beton segar dan keras. Berdasarkan RSNI T-14-2004, beton berpori dengan *silica fume* minimum 9% dinilai layak digunakan sebagai bahan perkerasan kaku dengan beban lalu lintas menengah atau berat.

Kata kunci: Beton Berpori, *Silica Fume*, Perkerasan Kaku

ABSTRACT

The purpose of this research is to analyze the effect of using *silica fume* on the quality of porous concrete as a rigid pavement material. The quality of fresh concrete tested includes *slump* and the unit weight. While, the quality of hardened concrete tested includes the unit weight, compressive strength, tensile strength, flexural strength, elastic modulus, strain – stress, and infiltration rate. The method used in this research is experimental method by making porous concrete specimens according to ACI 522R-10. Each specimen is made with a water/cement ratio of 0,27. Variations were made in *silica fume* presentations in concrete mixture that are 0%, 3%, 6%, and 9% of the weight of cement. The results showed that porous concrete with 9% *silica fume* produced the highest values in almost all tests for fresh and hardened concrete, except for the strain value and infiltration rate. The highest strain value was found in porous concrete with 6% *silica fume* and the highest infiltration rate was found in porous concrete with 0% *silica fume*. The effect of *silica fume* on the quality of fresh and hardened concrete was analyzed by linear regression test. Linear regression results showed that *silica fume* is very influential on the quality of fresh and hardened concrete. Based on RSNI T-14-2004, porous concrete with a minimum of 9% *silica fume* is considered suitable to use as rigid pavement material with medium or heavy traffic loads.

Keywords: Porous Concrete, *Silica Fume*, Rigid Pavement

PENDAHULUAN

Genangan air dan limpasan air diatas permukaan perkerasan kedap air menimbulkan banyak permasalahan. Ketidaknyamanan pengguna jalan, kemacetan, serta tidak tercapai umur rencana perkerasan jalan menuntut ditemukannya cara-cara baru untuk mengelola aliran air terutama dari air hujan. Beton berpori adalah suatu bahan

inovatif yang merupakan campuran dari agregat kasar, semen, air, dan sedikit atau tanpa pasir serta *admixture* yang membentuk beton dengan jaringan pori [1]. Dengan memiliki pori tersebut, memungkinkan air untuk mengalir kedalam perkerasan yang selanjutnya diteruskan kepada lapis perkerasan dibawahnya. Penggunaan Beton berpori sebagai perkerasan kaku memiliki berbagai manfaat lingkungan [2].

Dianantara lain sebagai pengendalian limpasan air hujan, pemulihan kualitas dan pasokan air tanah. Salah satu kelemahan beton berpori saat ini adalah kualitas yang masih rendah. Aplikasi beton berpori saat ini hanya digunakan pada lapangan parkir, trotoar, bahu jalan, maupun untuk konstruksi non-struktural.

Salah satu cara untuk meningkatkan kekuatan beton berpori adalah dengan menambahkan bahan *additive* yaitu *silica fume*. *Silica fume* berpengaruh pada kualitas beton segar dan beton keras. Pengaruh *silica fume* pada beton adalah akibat dari sifat kimawi dan mekanis yang dimiliki *silica fume* [3]. Melalui sifat kimiawi, *Silica fume* akan bereaksi dengan kapur bebas hasil proses hidrasi semen (CH) yang selanjutnya akan membentuk CSH tambahan. CSH tersebut berkontribusi dalam meningkatkan kekerasan beton. Sedangkan melalui sifat mekanis, *silica fume* dapat berperan sebagai *micro-filler*. Dalam perannya sebagai *filler* pada campuran beton, semakin banyak *silica fume* yang digunakan semakin tinggi pula nilai kuat tekan yang dihasilkan [4]. Hal ini menunjukkan bahwa porositas beton berpori sangat mempengaruhi nilai kuat tekan yang dihasilkan, yaitu semakin kecil nilai porositas beton mengakibatkan nilai kuat tekan yang semakin besar [5].

METODE PENELITIAN

Metode yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan membuat benda uji beton berpori sesuai dengan ACI 522R-10. Benda uji dibuat dengan faktor air semen sebesar 0,27 serta pemakaian *admixture* khusus beton berpori sebanyak 0,5% dari berat semen. Bahan tambah (*additive*) yang digunakan pada penelitian ini adalah *silica fume*. Benda uji dibuat dengan menambahkan *silica fume* pada campuran beton dengan jumlah *silica*

fume sebanyak 0%, 3%, 6%, dan 9% dari berat semen. Kualitas beton segar yang diuji meliputi *slump* dan berat isi beton segar. Kualitas beton keras yang diuji meliputi berat isi beton keras, kuat tekan, kuat tarik belah, kuat tarik lentur, modulus elastisitas, tegangan regangan dan laju infiltrasi. Untuk meneliti perkembangan kuat tekan beton berpori diuji pada umur 7, 14, dan 28 hari. Berat isi beton keras, kuat tarik belah, kuat tarik lentur, modulus elastisitas dan tegangan regangan diuji pada umur 28 hari serta pengujian laju infiltrasi beton berpori dilakukan pada umur 7 hari. Pengujian infiltrasi beton dilakukan sebagai model aplikasi penerapan pada perkerasan kaku.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Beton Segar

Slump

Hasil pengujian *slump* menunjukkan bahwa nilai yang didapatkan pada tiap variasi adalah konstan, yaitu 0 cm. Plastisitas beton berpori pada umumnya lebih kaku di bandingkan beton konvensional. Sehingga dapat dilihat bahwa besar presentase *silica fume* tidak mempengaruhi nilai *slump* pada beton berpori.

Berat Isi Beton Segar

Hasil pengujian beton segar dapat dilihat pada gambar 1. Dari gambar tersebut terlihat bahwa semakin banyak penambahan *silica fume* berdampak pada semakin naiknya nilai berat isi beton berpori. Secara berurut berat isi beton SF0% - SF9% adalah 1785,575 kg/m³ ; 1803,119 kg/m³ ; 1867,446 kg/m³; 1908,382 kg/m³.

Gambar 1 Perbedaan Berat Isi Beton Segar antara Tiap Variasi *Silica Fume*

Persamaan regresi linear yang didapat adalah $Y = 1776,218 + 14,425X$ [Pers. 1]. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa setiap penambahan 1% nilai *silica fume*, maka nilai berat isi beton segar bertambah sebesar 14,425. Untuk memperkuat persamaan tersebut maka dilihat pula nilai koefisien determinasi (R^2), perbandingan nilai signifikansi dengan probabilitas serta perbandingan T_{tabel} dengan T_{hitung} . Berdasarkan nilai R^2 , *silica fume* berpengaruh sebesar 96,1%. Dapat disimpulkan bahwa *silica fume* berpengaruh kuat terhadap berat isi beton segar. Serta, perbandingan nilai signifikansi dengan probabilitas dan T_{tabel} dengan T_{hitung} menunjukkan bahwa *silica fume* berpengaruh kuat terhadap berat isi beton segar.

Beton Keras

Berat Isi Beton Keras

Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan *silica fume* berdampak pada semakin naiknya nilai berat isi beton berpori. Secara berurut berat isi beton SF0% - SF9% adalah 1827,806 kg/m³ ; 1857,986 kg/m³; 1988,139 kg/m³ ; 2042,842 kg/m³. Hal ini berarti beton termasuk kategori beton ringan karena berat isi < 2200 Kg/m³.

Gambar 2 Perbedaan Berat Isi Beton Keras antara Tiap Variasi *Silica Fume*

Persamaan regresi linear yang didapat adalah $Y = 1812,904 + 25,842X$ [Pers. 2]. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa setiap penambahan 1% nilai *silica fume*, maka nilai berat isi beton keras bertambah sebesar 25,842. Berdasarkan nilai R^2 , *silica fume* berpengaruh sebesar 94,7%. Dengan membandingkan nilai signifikansi dengan probabilitas serta T_{tabel} dengan T_{hitung} dapat disimpulkan bahwa *silica fume* berpengaruh kuat terhadap berat isi beton keras.

Kuat Tekan

Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai kuat tekan paling besar saat beton berumur 7 hari terdapat pada campuran dengan presentase *silica fume* 9% yaitu dengan kuat tekan 16,36 MPa. Secara berurut nilai kuat tekan yang didapatkan 4,59 MPa ; 6,47 MPa ; 9,69 MPa ; dan 16,36 MPa. Pada umur 7 hari beton SF 0% mencapai 64,11%, SF 3% mencapai 56,02%, SF 6% mencapai 67,11%, dan SF 9% mencapai 64,81%.

Pada saat umur beton 14 hari dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan paling besar terdapat pada campuran dengan presentase *silica fume* 9% yaitu dengan kuat tekan 19,45 MPa. Secara berurut nilai kuat tekan yang didapatkan 6,34 MPa ; 8,04 MPa ; 10,65 MPa ; dan 19,45 MPa. Pada umur 14 hari beton SF 0% mencapai 88,54%, SF 3% mencapai 69,61%, SF 6% mencapai 73,75%, dan SF 9% mencapai 77,06%.

Pada umur 28 hari nilai kuat tekan paling besar terdapat pada campuran dengan presentase *silica fume* 9% yaitu dengan kuat tekan 25,24 MPa. Secara berurut nilai kuat tekan yang didapatkan 7,16 MPa ; 11,55 MPa ; 14,44 MPa ; dan 25,24 MPa. Pada umur 28 hari seluruh variasi beton dianggap sudah mencapai kuat tekan 100%. Nilai kuat tekan tersebut menunjukkan kemampuan beton menerima gaya persatuan luas. Kuat tekan mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur, semakin tinggi beban struktur yang dipikul maka semakin tinggi kuat tekan beton yang diperlukan. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan nilai kuat tekan tertinggi dihasilkan oleh beton berpori dengan kadar *silica fume* 9% untuk setiap variasi umur beton.

Gambar 3 Perbedaan Nilai Kuat Tekan antara Tiap Variasi *Silica Fume*

Untuk mengetahui pengaruh *silica fume* terhadap kuat tekan, uji regresi dilakukan terhadap tiap variasi umur kuat tekan. Persamaan regresi linear yang didapat pada umur 7 hari adalah $Y = 3,498 + 1,248X$ [Pers. 3]. Persamaan tersebut menunjukkan setiap penambahan 1% nilai *silica fume*, maka kuat tekan beton pada umur 7 hari bertambah sebesar 1,284. Berdasarkan nilai R^2 , *silica fume* berpengaruh sebesar 92,6%. Dengan membandingkan nilai signifikansi dengan probabilitas serta T_{tabel} dengan T_{hitung} dapat disimpulkan bahwa *silica fume* berpengaruh kuat terhadap kuat tekan umur 7 hari. Persamaan regresi

linear yang didapat pada umur 14 hari adalah $Y = 4,829 + 1,398X$ [Pers. 4]. Persamaan tersebut menunjukkan setiap penambahan 1% nilai *silica fume*, maka kuat tekan beton pada umur 14 hari bertambah sebesar 1,398. Berdasarkan nilai R^2 , *silica fume* berpengaruh sebesar 86,3%. Dengan membandingkan nilai signifikansi dengan probabilitas serta T_{tabel} dengan T_{hitung} dapat disimpulkan bahwa *silica fume* berpengaruh lemah terhadap kuat tekan umur 14 hari. Terakhir, Persamaan regresi linear yang didapat pada umur 28 hari adalah $Y = 6,028 + 1,904X$ [Pers. 5]. Persamaan tersebut menunjukkan setiap penambahan 1% nilai *silica fume*, maka kuat tekan beton pada umur 28 hari bertambah sebesar 1,904. Berdasarkan nilai R^2 , *silica fume* berpengaruh sebesar 91,7%. Dengan membandingkan nilai signifikansi dengan probabilitas serta T_{tabel} dengan T_{hitung} dapat disimpulkan bahwa *silica fume* berpengaruh kuat terhadap kuat tekan umur 28 hari.

Kuat Tarik Belah

Gambar 4 Perbedaan Nilai Kuat Tarik Belah antara Tiap Variasi *Silica Fume*

Kuat tarik belah merupakan salah satu sifat dasar beton yang penting diketahui. Penentuan kuat tarik belah digunakan untuk melihat beban maksimum yang dapat dipikul hingga beton mengalami retak atau terbelah. Dilihat dari gambit 4 dapat dilihat bahwa nilai tarik belah paling besar terdapat pada campuran dengan presentase *silica fume* 9% yaitu dengan kuat tarik belah sebesar 1,414 MPa. Secara berurut nilai kuat tarik

belah yang didapatkan 0,66 MPa ; 0,739 MPa ; 1,128 MPa ; dan 1,414 MPa. Semakin tinggi nilai kuat tarik beton, kemampuan beton dalam menahan retak semakin baik. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan beton berpori dengan *silica fume* memiliki kemampuan menahan retak lebih baik dibandingkan beton tanpa *silica fume*. Kuat tarik belah beton berpori berkisar antara 5% – 10% dari nilai kuat tekan umur 28 hari.

Gambar 5 Perbandingan Nilai Kuat Tarik Belah Pengujian dengan SNI

Dilihat dari gambar 5 nilai tarik belah yang didapatkan dari perhitungan menurut formulasi SNI menunjukkan hasil formulasi SNI lebih tinggi dari hasil pengujian. Untuk campuran SF 0% terlihat bahwa hasil perhitungan dengan formulasi SNI lebih besar 33,705 % dari hasil pengujian, untuk SF 3% hasil perhitungan lebih besar 51,742% dari hasil pengujian, untuk SF 6% hasil perhitungan lebih besar 11,198% dari hasil pengujian, dan untuk SF 9% hasil perhitungan lebih besar 17,278% dari hasil pengujian.

Persamaan regresi linear yang didapat adalah $Y = 0,588 + 0,088X$ [Pers. 6]. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa setiap penambahan 1% nilai *silica fume*, maka kuat tarik belah beton bertambah sebesar 0,088. Berdasarkan nilai R^2 , *silica fume* berpengaruh sebesar 94,8%. Dengan membandingkan nilai signifikansi dengan probabilitas serta T_{tabel} dengan T_{hitung} dapat disimpulkan

bahwa *silica fume* berpengaruh kuat terhadap kuat tarik belah.

Kuat Tarik Lentur

Gambar 6 Perbedaan Nilai Kuat Tarik Lentur antara Tiap Variasi *Silica Fume*

Kekuatan tarik lentur adalah kemampuan suatu material untuk menahan gaya tegak lurus dari sumbu longitudinalnya. Tegangan yang dihasilkan adalah kombinasi tegangan tekan dan Tarik [6]. Kuat lentur melalui pengujian ini menggambarkan perilaku beton saat mengalami deformasi. Dilihat dari gambar 6, dapat dilihat bahwa nilai tarik lentur paling besar terdapat pada campuran dengan presentase *silica fume* 9% yaitu dengan kuat tarik lentur sebesar 3,33 MPa. Secara berurut nilai kuat lentur yang didapatkan 1,222 MPa ; 2,156 MPa ; 2,489 MPa ; dan 3,333 MPa. Semakin tinggi nilai kuat lentur beton, maka kemampuan beton dalam menahan beban semakin besar. Dengan mengetahui kuat lentur dapat diketahui apakah beton membutuhkan perkuatan dengan menggunakan tulangan agar menunjang untuk digunakan sebagai suatu struktur. Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat bahwa kuat tarik lentur beton berpori berkisar antara 13% – 18% dari nilai kuat tekan umur 28 hari.

Gambar 1 Perbandingan Nilai Kuat Tarik Lentur Pengujian dengan SNI

Dilihat dari gambar 7, nilai tarik lentur yang didapatkan dari perhitungan menurut formulasi SNI menunjukkan nilai yang lebih tinggi dari hasil pengujian untuk campuran dengan *silica fume* 0%. Pada campuran lainnya hasil formulasi SNI menunjukkan nilai yang lebih rendah namun nilai hampir mendekati hasil pengujian. Untuk campuran SF 0% terlihat bahwa hasil perhitungan dengan formulasi SNI lebih besar 31,358% dari hasil pengujian, untuk SF 3% hasil perhitungan lebih rendah 5,402% dari hasil pengujian, untuk SF 6% hasil perhitungan lebih rendah 8,392% dari hasil pengujian, dan untuk SF 9% hasil perhitungan lebih rendah 9,569% dari hasil pengujian.

Persamaan regresi linear yang didapat adalah $Y = 1,301 + 0,222X$ [Pers. 7]. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa setiap penambahan 1% nilai *silica fume*, maka kuat tarik lentur beton bertambah sebesar 0,222. Berdasarkan nilai R^2 , *silica fume* berpengaruh sebesar 97,1%. Dengan membandingkan nilai signifikansi dengan probabilitas serta T_{tabel} dengan T_{hitung} dapat disimpulkan bahwa *silica fume* berpengaruh kuat terhadap kuat tarik lentur.

Modulus Elastisitas

Hasil pengujian Modulus Elastisitas menunjukkan nilai paling besar didapatkan pada campuran dengan

presentase *silica fume* 9% yaitu dengan rata – rata sebesar 12158,46 MPa. Secara berurut nilai modulus yang didapatkan 6374,731 MPa ; 8897,240 MPa ; 9045,138 MPa ; 12158,457 MPa. Selanjutnya perbandingan nilai modulus elastisitas pengujian dengan modulus elastisitas teoritis dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

Gambar 2 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Pengujian dengan SNI

Nilai modulus elastisitas yang didapatkan dari perhitungan menurut rumus E_c yang terdapat pada RSNi T-12-2004 menunjukkan bahwa hasil pengujian lebih rendah. Untuk campuran SF 0% terlihat bahwa hasil perhitungan dengan rumus SNI lebih besar 40,87% dari hasil pengujian, untuk SF 3% hasil perhitungan lebih besar 31,53% dari hasil pengujian, untuk SF 6% hasil perhitungan lebih besar 59,52% dari hasil pengujian, dan untuk SF 9% hasil perhitungan lebih besar 63,87% dari hasil pengujian. Nilai modulus elastisitas penting diketahui untuk menentukan kekuatan elastisitas bahan. Nilai tersebut membantu dalam merencanakan lendutan maksimum yang terjadi pada struktur beton. Lendutan harus dihitung dengan modulus elastisitas yang sesuai dengan nilai E_c beton aktual. Dalam rumus lendutan maksimum pada struktur, E_c memiliki peran sebagai faktor pembagi. Maka semakin besar nilai E_c akan menyebabkan nilai lendutan maksimum yang terjadi semakin kecil begitu pula sebaliknya.

Persamaan regresi linear yang didapat adalah $Y = 6494,030 + 583,303X$ [Pers. 8]. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa setiap penambahan 1% nilai *silica fume*, maka kuat tarik lentur beton bertambah sebesar 0,222.

Berdasarkan nilai R^2 , *silica fume* berpengaruh sebesar 91,0%. Dengan membandingkan nilai signifikansi dengan probabilitas serta T_{tabel} dengan T_{hitung} dapat disimpulkan bahwa *silica fume* berpengaruh kuat terhadap nilai modulus elastisitas.

Gambar 3 Model Tegangan - Regangan Beton tiap Variasi Silica Fume

Tegangan Regangan

Model tegangan – regangan menunjukkan seberapa besar sifat daktilitas beton. RSNi T-12-2004 (Pasal 5.1.1.1) membatasi regangan beton yang tertekan diambil sebesar 0,003. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai regangan terbesar terdapat pada campuran dengan presentase *silica fume* 6% yaitu sebesar 0,00267. Untuk campuran dengan nilai regangan terendah adalah campuran dengan presentase *silica fume* 0% yaitu sebesar 0,00167 disusul oleh campuran SF3% yaitu sebesar 0,00175 dan SF9% yaitu sebesar 0,0023. Nilai tersebut menunjukkan bahwa nilai regangan lebih kecil dari nilai regangan maksimum menurut SNI. Oleh karena itu, sifat daktilitas beton berpori dapat dikategorikan rendah atau bersifat getas. Persamaan regresi linear yang didapat adalah $Y = 0,002 + 10^{-5}X$ [Pers. 9]. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa setiap penambahan 1% nilai *silica fume*, maka regangan beton bertambah sebesar $9,667 \times 10^{-5}$. Berdasarkan nilai R^2 , *silica fume* berpengaruh sebesar 61,4%. Dengan membandingkan nilai signifikansi dengan probabilitas serta T_{tabel} dengan T_{hitung} dapat disimpulkan

bahwa *silica fume* berpengaruh lemah terhadap regangan.

Laju Infiltrasi

Gambar 4 Perbedaan Laju Infiltrasi antara Tiap Variasi Silica Fume

Laju infiltrasi beton berpori diuji sesuai dengan prosedur pada ASTM C1701. Dari perhitungan laju infiltrasi beton berpori untuk tiap variasi presentase *silica fume* secara berurutan kecepatan laju infiltrasi yang didapatkan adalah 75327,297 mm/jam ; 57295,825 mm/jam ; 52265,291 mm/jam ; 41443,635 mm/jam. Dapat dilihat bahwa kecepatan laju infiltrasi yang paling cepat didapatkan pada campuran dengan presentase *silica fume* 0% yaitu dengan

kecepatan 75327,297 mm/jam. Hal ini disebabkan karena tiap penambahan kadar *silica fume* membuat beton lebih padat sehingga kecepatan laju infiltrasi menurun. Nilai laju infiltrasi ini menunjukkan kemampuan beton berpori dalam meloloskan air. Nilai laju infiltrasi sangat penting diketahui pada perkerasan kaku beton berpori. Dengan mengetahui nilai laju infiltrasi beton, pencegahan terjadinya genangan air pada permukaan jalan dapat dilakukan, serta dapat membantu dalam proses pemantauan kinerja beton berpori serta perencanaan perawatan selama masa layan.

Persamaan regresi linear yang didapat adalah $Y = 72585,240 - 3556,051X$

Tabel 1 Rangkuman Kualitas Beton Berpori

Kualitas \ Variasi	SF 0%	SF 3%	SF 6%	SF 9%
Slump (mm)	0	0	0	0
Berat Isi Beton Segar (Kg/m³)	1785,575	1803,119	1867,446	1908,382
Berat Isi Beton Keras (Kg/m³)	1827,806	1857,986	1988,139	2042,842
f'c umur 7 Hari (MPa)	4,59	6,47	9,69	16,36
f'c umur 14 Hari (MPa)	6,34	8,04	10,65	19,45
f'c umur 28 Hari (MPa)	7,16	11,55	14,44	25,24
Fcs (MPa)	0,660	0,739	1,128	1,414
Fcf (MPa)	1,222	2,156	2,489	3,333
Ec (MPa)	6374,731	8897,240	9045,138	12158,457
Regangan	0,00167	0,00175	0,00267	0,00233
Laju Infiltrasi (mm/jam)	75327,297	57295,825	52265,291	41443,635

Aplikasi Beton Berpori Sebagai Bahan Perkerasan Kaku

Dari hasil analisa yang dilakukan terhadap kualitas beton segar maupun keras beton berpori dengan bahan tambah *silica fume*, menunjukkan bahwa komposisi optimum terdapat pada beton berpori dengan presentase *silica fume* 9%. Dengan mengetahui kualitas beton berpori dengan bahan tambah *silica fume* selanjutnya dapat ditentukan layak atau tidaknya material beton berpori digunakan sebagai bahan perkerasan

[Pers. 10]. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa setiap penambahan 1% nilai *silica fume*, kecepatan laju infiltrasi beton berkurang sebesar 3556,051. Berdasarkan nilai R^2 , *silica fume* berpengaruh sebesar 94,9%. Dengan membandingkan nilai signifikansi dengan probabilitas serta T_{tabel} dengan T_{hitung} dapat disimpulkan bahwa *silica fume* berpengaruh kuat terhadap laju infiltrasi.

Rangkuman Kualitas Beton Berpori

Berikut ini adalah rangkuman kualitas beton segar dan keras berpori dengan bahan tambah *silica fume*.

kaku. Peninjauan dilakukan terhadap tiap kualitas beton yang diuji dan dibandingkan dengan teori maupun peraturan yang berlaku dan berkaitan dengan penggunaan material beton sebagai perkerasan jalan.

Pertama, ditinjau dari kualitas beton segar yaitu nilai *slump*. Nilai *slump* beton untuk tiap variasi secara konstan adalah 0 cm. Nilai *slump* 0 – 25 mm merupakan nilai *slump* yang sesuai untuk aplikasi perkerasan yang menggunakan alat penggetar mesin maupun manual

[7]. Dalam aplikasi perkerasan kaku, nilai *shump* yang rendah membantu dalam proses pembuatan evaluasi atau kemiringan badan jalan. Apabila dilihat dari nilai berat isi beton segar, tidak ada persyaratan khusus dalam teori maupun peraturan.

Ditinjau dari kualitas beton berpori saat sudah mengeras, nilai berat isi beton keras tidak memiliki persyaratan minimum sebagai aplikasi perkerasan kaku. Nilai kuat tekan merupakan nilai yang menunjukkan mutu beton. Kuat tekan tertinggi didapatkan pada beton dengan *silica fume* 9% pada umur 28 hari yaitu 25,24 MPa. Nilai tersebut menunjukkan bahwa beton termasuk kedalam beton mutu sedang ($20 \text{ MPa} \leq x < 45 \text{ MPa}$). Oleh karena itu, beton memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan perkerasan kaku dengan beban lalu lintas menengah atau berat (kendaraan yang memiliki berat lebih besar dari 3 ton) [8].

Kuat tarik yang dilakukan pada penelitian ini adalah kuat tarik belah dan kuat tarik lentur. Kuat tarik belah beton tertinggi didapatkan pada beton dengan *silica fume* 9% yaitu 1,414 MPa. Dalam aplikasi sebagai perkerasan kaku nilai tarik belah tidak menjadi tolak ukur dalam perencanaan sehingga tidak terdapat persyaratan khusus. Kekuatan beton dalam perencanaan harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur yang besarnya 3 – 5 Mpa [9]. Kuat tarik lentur yang memenuhi persyaratan tersebut didapatkan pada beton dengan *silica fume* 9% yaitu 3,33 MPa.

Nilai modulus elastisitas dan tegangan – regangan beton berpori merupakan sifat yang penting diketahui. Nilai tersebut selanjutnya akan membantu dalam perencanaan perkerasan jalan. Namun, tidak terdapat persyaratan khusus mengenai nilai modulus elastisitas dan tegangan – regangan beton.

Kualitas terakhir yang diuji adalah laju infiltrasi beton berpori. Laju infiltrasi mencerminkan proses lolosnya air kedalam pori beton yang selanjutnya diteruskan pada lapisan jalan. Nilai laju infiltrasi beton tertinggi terdapat pada beton dengan *silica fume* 0% yaitu 75327,297 mm/jam. Nilai tersebut dibandingkan dengan nilai intensitas curah hujan pada wilayah dimana perkerasan beton berpori akan diaplikasikan. Pada penelitian ini laju infiltrasi dibandingkan dengan intensitas curah hujan di pulau jawa. Nilai intensitas curah hujan di pulau jawa terbesar terjadi saat musim hujan yaitu mencapai 9,301 mm/jam [10]. Data ini menunjukkan bahwa kemampuan infiltrasi beton berpori pada tiap variasi jauh diatas intensitas curah hujan di pulau jawa. Selain itu, kemampuan laju infiltrasi beton berpori juga cocok digunakan saat terjadi hujan sangat lebat yaitu dengan intensitas curah hujan lebih dari 20 mm/jam [11]. Sehingga perkerasan kaku dengan beton berpori dapat menjadi salah satu solusi yang tepat untuk mencegah terdapatnya genangan air diatas permukaan jalan.

Dari penjelasan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa beton berpori yang memenuhi syarat sebagai perkerasan kaku adalah beton berpori dengan presentase *silica fume* 9%.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *silica fume* berpengaruh terhadap kualitas beton berpori. Beton berpori dengan *silica fume* 9% menghasilkan nilai tertinggi pada hampir semua pengujian untuk beton segar dan keras, kecuali pada nilai regangan dan laju infiltrasi. Nilai regangan terbesar terdapat pada campuran beton berpori dengan *silica fume* 6% serta nilai laju infiltrasi terbesar terdapat pada campuran beton berpori dengan *silica*

fume 0%. Berdasarkan nilai *slump*, kuat tekan, kuat lentur, dan laju infiltrasi, beton berpori dengan *silica fume* minimal 9% dinilai layak digunakan sebagai bahan perkerasan kaku. Selanjutnya, penelitian terhadap drainase, lapis perkerasan dan metode pelaksanaan yang sesuai perlu dikembangkan sebelum beton berpori diaplikasikan untuk perkerasan kaku.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih diberikan kepada PT Semen Indonesia Beton yang telah mensponsori penelitian ini dengan bantuan material, laboratorium, serta bimbingan hingga terselesainya penelitian ini dan PT Sika Indonesia yang telah membantu dalam memberi bantuan *silica fume* untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bante, K. S., Waghmare, C. A., Madavi, C. S., Rahile, R. M., & Ansari, A. S. A. (2018, March). Partial Replacement of Cement by Flyash in Pervious Concrete. *International Journal of Engineering and Technology*, 416-419.
- [2] Amde, A., & Rogge, S. (2013). *Development of High Quality Pervious Concrete Specifications For Maryland Conditions*. Maryland: State Highway Administration.
- [3] Holland, T.C. (2005), *Silica Fume User's Manual*, Silica Fume Association, Free Highway Association, FHWA-IF-05-016, USA.
- [4] Tarru, R. O., Johan, & Bandaso, R. S. (2017). *Studi penggunaan Silica Fume sebagai Bahan Pengisi (Filler) Pada Campuran Beton*. Universitas Kristen Indonesia Toraja, Teknik Sipil, Toraja.
- [5] Chopda, S. M., & Chhattani, B. M. (2015, July - December). Mechanical Properties of Pervious Concrete. *International J. Technology*, 5(2), 113-117. doi:10.5958/2231-3915.2015.00006.1
- [6] Petroudy, S. D. (2017). Physical and mechanical properties of natural fibers. In *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction* (pp. 59-83). Woodhead Publishing.
- [7] Neville, A., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete Technology* (Vol. Second Edition). Harlow, United Kingdom: Pearson.
- [8] Standar Nasional Indonesia. (2004). *RSNI -T-12-2004 (Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [9] Litbang Teknik Bidang Prasarana Transportasi. (2003). *Pd T-14-2003 : Perencanaan perkerasan jalan beton semen*. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- [10] Ramadlon, M. M., & Hariyanto, T. (2014, Agustus). *Analisa Perbandingan Curah Hujan Berdasarkan Data Citra NOAA AVHR dengan Data Curah Hujan di Lapangan*. *GEOID*, 10, 1-7.
- [11] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2010). *Kondisi Cuaca Ekstrem dan Ilkim Tahun 2010 - 2011*. [PowerPoint Slides]