

Pemanfaatan Mikrobakteri Terhadap Beton Mutu Tinggi dengan Tambahan *Silica Fume*

Azwar Annas, Januarti Jaya Ekaputri, dan Triwulan
Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: triwulan@ce.its.ac.id

Abstrak— Beton mutu tinggi adalah beton yang kuat tekan tinggi sekitar 50 MPa – 100 MPa. Untuk meningkatkan kuat tekan, material pozzolan seperti silika fume dan flyash biasanya digunakan untuk mengganti material beton. Dalam laporan ini, beton mutu tinggi dengan *silica fume* sebagai pengganti semen dipelajari. Kadar *silica fume* yang digunakan adalah 0%, 5%, 7,5% dan 10%. Selain itu pengaruh dari mikrobakteri juga dipelajari. Faktor water per binder yang dipakai adalah 25% dari berat binder, dan untuk membuat workabilitynya bagus maka digunakan *superplasticizer*. Kadar *superplasticizer* yang digunakan dicari lewat trial pengujian di laboratorium. Pengujian yang dilakukan pada umur 1, 3, 7, 14, 21, 28 adalah uji tekan pasta, mortar dan beton, selain itu pada benda uji beton umur 28 hari akan dilakukan uji split beton dan uji porositas. Dari hasil penelitian didapatkan kuat tekan beton tertinggi pada umur 28 hari (B7,5M) adalah 69,71 MPa, sedangkan variasi *silica fume* yang paling optimum ada pada kadar 7,5%. Penambahan mikrobakteri tidak berpengaruh pada berat volume beton tetapi berpengaruh pada kuat tekan beton tersebut. Dengan penambahan mikrobakteri maka kuat tekan beton meningkat sebesar $\pm 30\%$. Sedangkan porositas total dan porositas tertutup yang terjadi pada beton semakin kecil, ini dibuktikan dengan hasil SEM terlihat bahwa bakteri mengisi area antara agregat dan matrix beton.

Kata Kunci—beton mutu tinggi, kuat tekan, mikrobakteri, *silica fume*

I. PENDAHULUAN

BETON mutu tinggi diartikan sebagai beton dengan agregat biasa dengan kuat tekan lebih dari 50 MPa [1].

Volume material semen yang digunakan untuk membuat beton mutu tinggi per m^3 biasanya lebih dari 800 kg/m^3 dan faktor air semen biasanya lebih kecil dari 0,2. Beton mutu tinggi biasanya agregatnya terbuat dari bahan yang sangat halus, seperti pasir kuarsa atau *silica fume* [2]

Pada penelitian yang dilakukan oleh **Error! Reference source not found.**, diteliti penggunaan teknik perbaikan biologis. Bakteri Ureolytic seperti *Bacillus sphaericus* mampu mengendapkan CaCO_3 dalam tubuh mereka dengan mengubah urea menjadi ammonium dan karbonat. Degradasi bakteri dari

urea lokal meningkatkan Ph dan mempromosikan pengendapan mikroba dari kalsium karbonat dalam lingkungan yang kaya kalsium. Kristal-kristal diendapkan sehingga dapat mengisi retak beton. Analisis termogravimetri menunjukkan bahwa bakteri mampu untuk mengendapkan kristal CaCO_3 dalam retakan. Hal itu terlihat bahwa bakteri biasa tidak bisa menutupi retak beton. Namun, ketika bakteri dilindungi dalam gel silika, retak bisa ditutup sepenuhnya.

Di Indonesia sendiri telah banyak penelitian tentang beton mutu tinggi, salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh [4], yang menggunakan bahan tambah *silica fume* dan *superplasticizer* dengan kuat tekan beton mutu tinggi yang dapat dicapai sebesar 51,35 MPa.

Silica fume yang secara fisik lebih halus dari pada semen dan secara kimia mengandung unsur SiO_2 yang tinggi, akan dapat menambah kekuatan beton apabila digunakan sebagai bahan tambahan pada beton [5].

Selain *silica fume* juga diperlukan *superplasticizer*, yang merupakan bahan tambah (*admixture*). Bahan tambah, *additive* atau *admixture* adalah bahan selain semen, agregat, dan air yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum atau selama pengadukan beton untuk mengubah sifat beton sesuai dengan keinginan perencana. Penambahan *additive* atau *admixture* tersebut ke dalam campuran beton ternyata telah terbukti meningkatkan kinerja beton hampir di semua aspeknya, yaitu -kekuatan, kemudahan pengerjaan, keawetan dan kinerja-kinerja lainnya dalam memenuhi tuntutan teknologi konstruksi modern.

Dalam penelitian ini, peneliti akan mencari tahu apakah *silica fume* dan *mikrobakteri* yang diberikan berpengaruh pada kuat tekan beton, dengan target kuat tekan adalah 70 MPa.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Material

1. Semen

Semen yang digunakan adalah semen portland type I (OPC) yang diambil dari PT. Varia Usaha Beton. Berat jenis semen tersebut adalah $2,99 \text{ gr/cm}^3$.

Semen OPC yang digunakan memiliki kandungan

Tabel 1 Kandungan semen OPC

Komposisi	(%)
C ₃ S	51
C ₂ S	24
C ₃ A	6
C ₄ AF	11
MgO	2,9
SO ₃	2,5

2. Silica fume

Silica fume yang digunakan diambil dari PT BASF. Silica fume yang digunakan memiliki kandungan

Tabel 2 Kandungan silica fume

Komposisi	(%)
SiO ₂	90
Fe ₂ O ₃	1
Al ₂ O ₃	1
CaO	0,4
MgO	1
C	2
LOI	3

Tabel 3 Sifat fisik silica fume

Berat jenis	2,2
berat volume (kg/m ²)	250 - 400
Diameter rata-rata (µm)	0,1 - 0,2
% lolos 45 µm (%)	90 - 100
Bentuk partikel	berbentuk bola
Sifat	Amorf

3. Superplasticizer

Superplasticizer yang digunakan adalah *Viscocrete 1003* dari PT. SIKA Indonesia, yaitu *superplasticizer* generasi ketiga yang digunakan untuk mortar dan beton.

Kadar optimum diperoleh antara 0,5% - 2% dari berat semen. Dengan menggunakan kadar *admixture* secara optimum dapat menghasilkan interaksi yang baik antara butiran halus dan *admixture*, serta menghemat biaya.

4. Mikrobakteri

Mikrobakteri yang digunakan adalah enzim *bioconcrete*, yaitu produk yang terbuat dari material organik. Enzim *bioconcrete* adalah produk yang ramah lingkungan, tidak beracun, dan aman bagi manusia dan makhluk hidup lainnya.

Enzim *bioconcrete* juga bisa meningkatkan kuat tekan, mereduksi berat semen, dan mereduksi retak susut.

B. Mix Design

- Persentase *silica fume* yang digunakan adalah 0%, 5%, 7,5%, 10% dari jumlah binder
 - Presentase air yang digunakan adalah 25% dari jumlah binder
 - Rasio pasir terhadap semen adalah 1,2
 - Semen yang digunakan dibatasi 600kg/m³
 - Dosis mikrobakteri yang digunakan adalah 400ml/m³ beton
- Untuk mencari volume kerikil maka digunakan metode

volume absolut

- Trial volume superplasticizer terhadap berat binder

$$\frac{W_{\text{semen}}}{\rho_{\text{semen}}} + \frac{W_{\text{air}}}{\rho_{\text{air}}} + \frac{W_{\text{kerikil}}}{\rho_{\text{kerikil}}} + \frac{W_{\text{pasir}}}{\rho_{\text{pasir}}} + \frac{W_{\text{superplasticizer}}}{\rho_{\text{superplasticizer}}} = 1$$

Tabel 4 Mix design beton tanpa mikrobakteri per m³

Kode	B0	B5	B7,5	B10
Semen (kg)	600	570	555	540
Silicafume (kg)	0	30	45	60
Air (L)	150	150	150	150
Pasir (kg)	720	684	666	648
Kerikil (kg)	940	957	965	972
Mikrobakteri (L)	0	0	0	0
SP (L)	4,08	6,72	8,52	10,62

Tabel 5 Mix design beton dengan mikrobakteri per m³

Kode	B0M	B5M	B7,5M	B10M
Semen (kg)	600	570	555	540
Silicafume (kg)	0	30	45	60
Air (L)	150	150	150	150
Pasir (kg)	720	684	666	648
Kerikil (kg)	934	951	958	966
Mikrobakteri (L)	0,4	0,4	0,4	0,4
SP (L)	6,3	9,37	11,32	13,27

C. Proses Curing

Proses *curing* untuk pasta dilakukan dengan cara direndam di dalam air, mortar dilakukan *moist curing*, dan untuk beton dilakukan dengan cara direndam di dalam air.

D. Metode Pengetesan

Pengetesan yang dilakukan adalah :

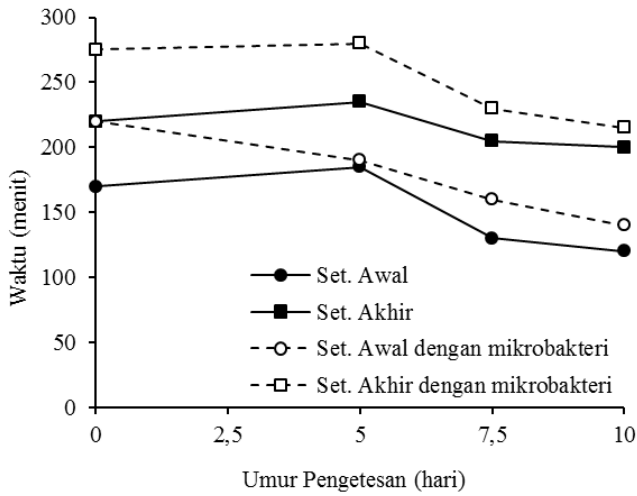
Pasta : Uji tekan silinder 2cm x 4cm [1].

Mortar : Uji tekan silinder 5cm x 10cm [1].

Beton : Uji tekan silinder 10cm x 20cm [1]. Uji split silinder 5cm x 10cm, dan Uji Porositas.

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. *Setting Time*



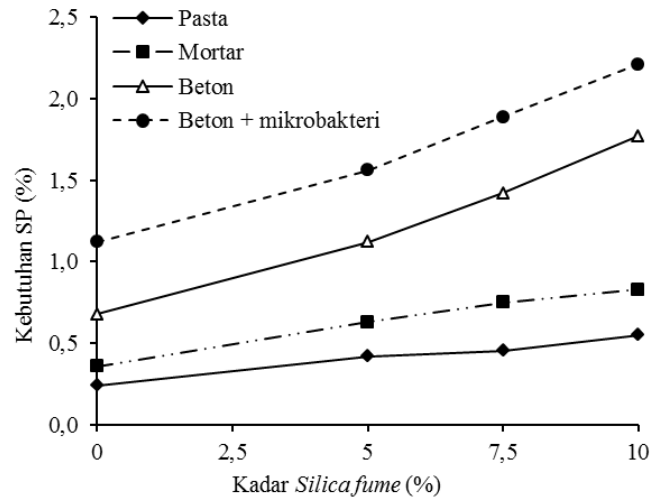
Gambar 1 Grafik hubungan *setting time* dengan variasi *silica fume*

Dari Gambar 1 dapat diketahui bahwa dengan meningkatkan kadar *silica fume* (5% sampai 10% dari binder) *setting time* awal yang tidak mengandung mikrobakteri menurun dari 185 menit menjadi 120 menit. Untuk *setting time* akhir yang juga menurun dari 235 menit menjadi 200 menit. Perbedaan antara *setting awal* dan *setting akhir* adalah sekitar 50 menit, ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hong dan Lubell, (2015). Sedangkan untuk *setting time* awal yang mengandung mikrobakteri juga menurun dari 190 menit menjadi 140 menit. Untuk *setting time* akhir yang mengandung mikrobakteri juga menurun dari 280 menit menjadi 215 menit. Dengan penambahan *silica fume* maka *setting time* yang terjadi cenderung cepat, itu disebabkan karena material *silica fume* yang halus sehingga menyerap banyak air dan *setting time* yang terjadi akan lebih cepat karena air yang tersedia lebih sedikit. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Limantono, (2015). Dari Gambar 1 diketahui juga bahwa penambahan mikrobakteri pada pasta memberikan sedikit pengaruh pada *setting time*.

B. *Kebutuhan Superplasticizer*

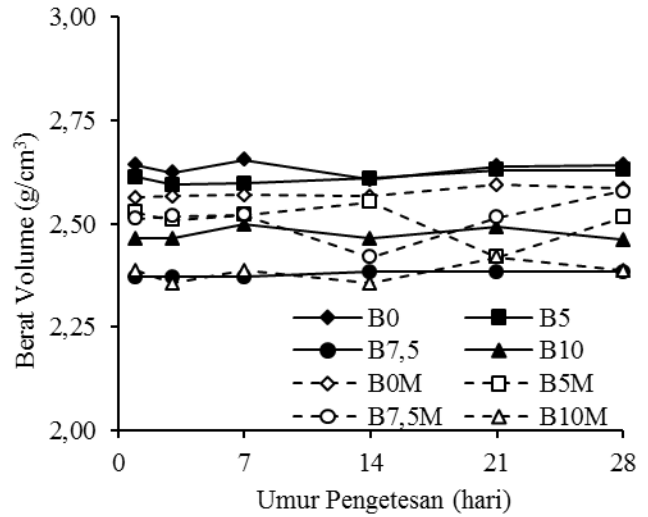
Dari Gambar 2 diketahui bahwa penambahan *silica fume* yang semakin banyak menyebabkan *superplasticizer* yang dibutuhkan semakin banyak, menurut [6] disebabkan karena ukuran partikel *silica fume* yang sangat halus yang menyebabkan banyaknya *superplasticizer* yang diserap. Dari Gambar 2 diperoleh juga bahwa dengan penambahan agregat dari benda uji pasta ke mortar dan kemudian ke beton maka *superplasticizer* yang digunakan juga semakin banyak. Hal itu bisa kita ketahui dari selisih jarak antar grafik dari benda uji pasta dan mortar, artinya penambahan pasir pada mortar menyebabkan bertambahnya *superplasticizer*. Pada benda uji mortar dan beton selisih jarak antar grafik semakin besar,

artinya kerikil yang kita gunakan memerlukan tambahan air yang lebih banyak daripada pasir.



Gambar 2 Grafik hubungan kebutuhan SP dengan variasi *silica fume*

C. *Berat Volume Beton*

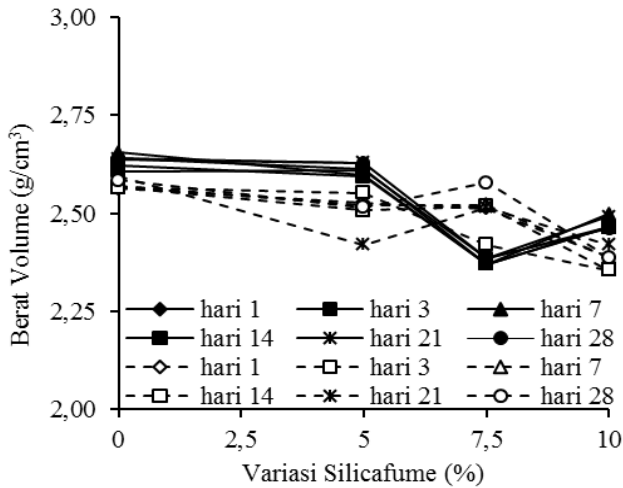


Gambar 3 Grafik hubungan berat volume pasta terhadap umur pengetesan

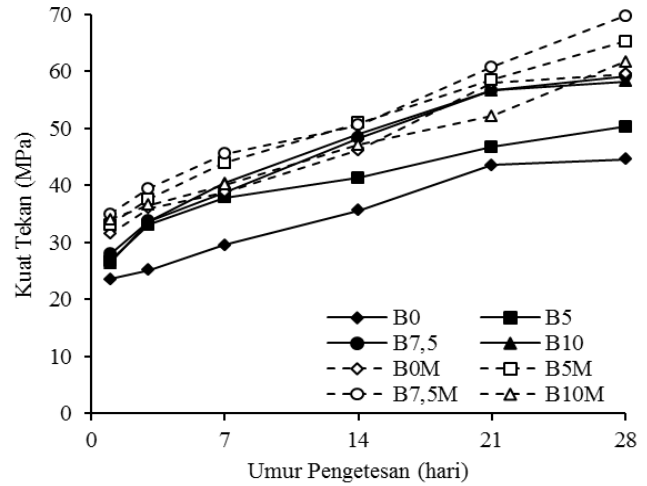
Dari Gambar 3 diketahui bahwa berat volume beton umur 1, 3, 7, 14, 21, 28 hari memiliki kecenderungan yang sama yaitu berkisar antara 2,35 gr/cm³ – 2,6 gr/cm³. Sedangkan berdasarkan [7] berat volume beton normal adalah ± 2,35 gr/cm³. Sedangkan Gambar 4 diketahui bahwa pada beton dengan *silica fume* 0%, 5%, 7,5% dan 10% berat volume semakin berkurang. Hal ini sesuai dengan penelitian Saridemir [8] yang menggunakan variasi *silica fume* 10%, 15%, 20% dan 25%. Dan dari Gambar 5 diketahui bahwa penambahan mikrobakteri tidak memiliki pengaruh terhadap berat volume beton. Hal ini dapat dilihat dari hasil berat volume beton tanpa mikrobakteri dan dengan mikrobakteri yang tidak berbeda

jauh, yaitu cenderung berkisar antara 2,35 gr/cm³ – 2,6 gr/cm³.

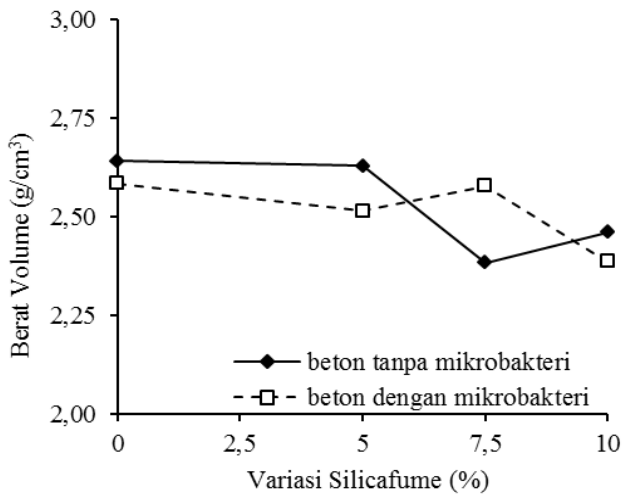
D. Kuat Tekan Beton



Gambar 4 Grafik hubungan kebutuhan SP dengan variasi *silica fume*

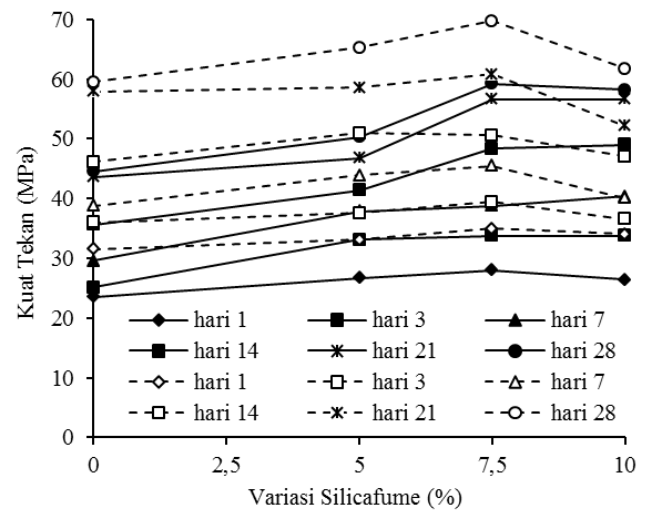


Gambar 6 Grafik hubungan berat volume pasta terhadap umur pengetesan



Gambar 5 Grafik hubungan kebutuhan SP dengan variasi *silica fume*

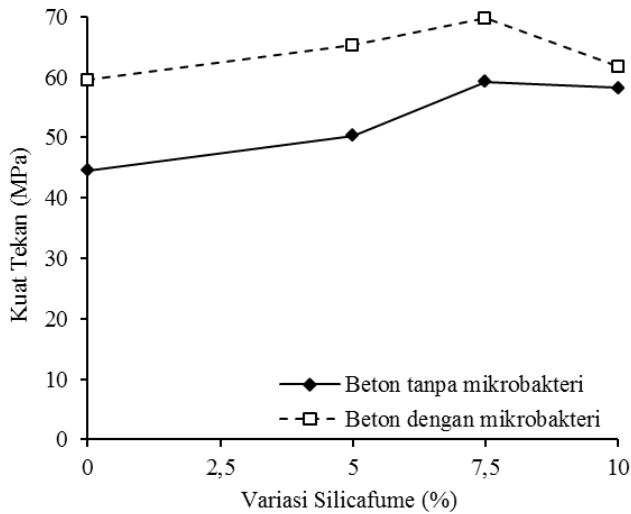
Dari Gambar 6 diketahui bahwa kuat tekan beton tanpa mikroba (B0) tertinggi pada umur 28 hari adalah sebesar 59,21 MPa dan kuat tekan beton dengan mikroba tertinggi pada umur 28 hari adalah sebesar 69,71. Sedangkan kuat tekan beton tanpa mikroba terendah pada umur 28 hari adalah sebesar 44,56 MPa dan kuat tekan beton dengan mikroba terendah pada umur 28 hari adalah sebesar 59,52 MPa. Pada kuat tekan beton setelah 28 hari terlihat masih ada peningkatan kuat tekan. menurut [7] pada kuat tekan beton mutu tinggi dengan silicafume memang mengalami peningkatan kuat tekan setelah umur 28 hari sampai umur 90 hari, setelah umur 90 hari penambahan kuat tekan tersebut tidak terlalu signifikan atau cenderung tetap.



Gambar 7 Grafik hubungan berat volume pasta terhadap umur pengetesan

Dari Gambar 7 diketahui bahwa dengan penambahan silica fume maka kuat tekan beton juga ikut meningkat. Variasi silica fume yang optimum adalah pada kadar 7,5% dengan w/b 0,25

dari berat binder. Kuat tekan beton pada umur 28 hari dengan kadar 7,5% (B5) meningkat 32,9% dari pada beton kontrol (B0). Sedangkan menurut [8] kadar silicafume yang optimum adalah 8% dengan w/b 0,46 dan 0,36. Sedangkan beton dengan penambahan mikrobakteri, variasi silica fume yang paling optimum ada pada kadar 7,5%, sama seperti beton tanpa penambahan mikrobakteri. Kuat tekan beton dengan penambahan mikrobakteri pada umur 28 hari dengan kadar 7,5% (B7,5M) meningkat 17,1% apabila dibandingkan terhadap beton kontrol dengan penambahan mikrobakteri (B0M) dan pada benda uji pasta dan benda uji mortar juga tidak berbeda, variasi silicafume yang optimum ada pada kadar 7,5%. Itu membuktikan bahwa silicafume tetap menambah kuat tekan meskipun berada pada benda uji pasta dan juga benda uji mortar.

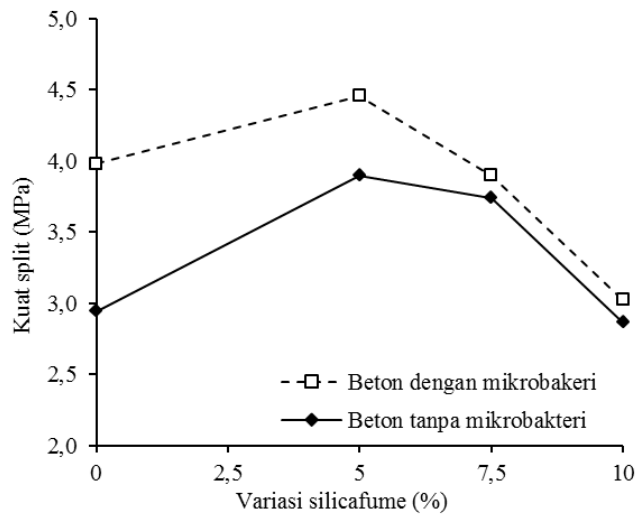


Gambar 8 Grafik hubungan berat volume pasta terhadap umur pengetesan

Dari Gambar 8 diketahui bahwa ada jarak antara grafik beton tanpa mikrobakteri dan grafik beton dengan mikrobakteri, ini berarti penambahan mikrobakteri memberikan pengaruh pada kuat tekan beton. Hal ini disebabkan karena adanya rongga udara yang dibentuk oleh agregat yang ada pada beton, berbeda halnya dengan pasta dan mortar yang mempunyai rongga udara yang minimum. Dengan penambahan mikrobakteri pada B0 kuat tekan meningkat sebesar 33,57%, pada B5 sebesar 29,75%, pada B7,5 sebesar 17,74%, dan pada B10 sebesar 6,01%. Semakin tinggi variasi silicafume (0%, 5%, 7,5%, 10%) maka pengaruh mikrobakteri juga semakin berkurang, ini dikarenakan rongga udara yang ada pada beton terisi oleh partikel silica fume yang halus. Hal ini terbukti pada silica fume 10% yang memiliki penambahan kuat tekan terkecil yaitu 6,01%.

E. Kuat Split Bet

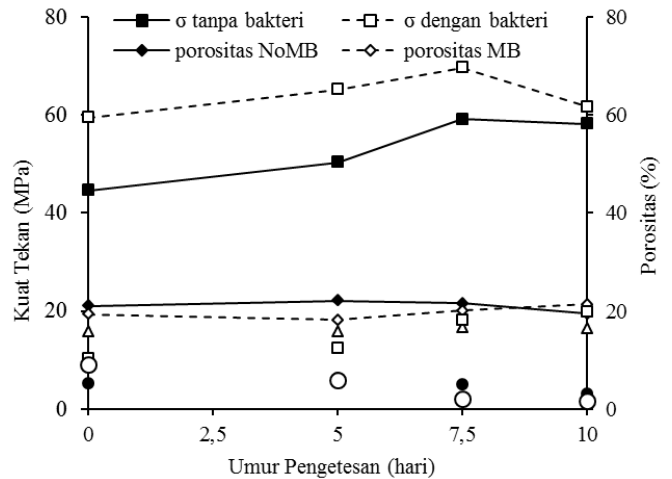
on



Gambar 9 Grafik hubungan berat volume pasta terhadap umur pengetesan

Dari Gambar 9 diketahui bahwa kuat split paling optimum ada pada beton dengan penambahan silica fume 5%, setelah itu pada silica fume 7,5% dan silica fume 10% kekuatannya menurun. Penambahan mikrobakteri juga berpengaruh pada kuat split, ini terlihat pada kuat tekan beton dengan mikrobakteri yang hasilnya lebih tinggi dari pada beton tanpa mikrobakteri. Pada titik optimum (silica fume 5%) kekuatan beton dengan mikrobakteri bertambah sebesar 14,3% bila dibandingkan dengan beton tanpa mikrobakteri. Sedangkan untuk penelitian beton dengan tambahan silica fume [3], kuat split tertinggi ada pada variasi silica fume 10% dengan w/b 0,3.

F. Porositas Beton



Gambar 10 Grafik hubungan porositas beton dengan kuat tekan 28 hari

Dari Gambar 10 diketahui bahwa semakin bertambahnya kuat tekan maka semakin kecil juga porositasnya. hal ini

dikarenakan *silica fume* mempunyai efek sebagai filler yang mengisi rongga udara tersebut sehingga Semakin bertambahnya variasi *silica fume* maka rongga udarapun menjadi berkurang. Penambahan mikrobakteri juga memberikan efek pada porositas, yaitu berkurangnya porositas total dan porositas tertutup pada beton. Hal ini dibuktikan dengan hasil SEM beton dengan mikrobakteri, dan dari hasil SEM tersebut terlihat bahwa bakteri mengisi area antara agregat dan matrix beton.



Gambar 11 Hasil SEM beton dengan tambahan mikrobakteri

Dari Gambar 11 diketahui bahwa bakteri yang terlihat pada uji SEM adalah *Sporosarcina Pasteurii*

pada umur 28 hari dengan w/b 0,25.

- Penambahan mikrobakteri sebanyak 400ml/m³ pada benda uji beton memberikan efek pada kuat tekan, yaitu pada B0 sebesar 34%, B5 sebesar 30%, B7,5 sebesar 18% dan B10 sebesar 6%.
- Penambahan mikrobakteri juga berpengaruh pada kuat split, yaitu pada B0 sebesar 35,14%, B5 sebesar 14,29%, B7,5 sebesar 4,06% dan B10 sebesar 5,56%
- Dari pengujian diketahui juga kuat split semakin besar jika kuat tekan juga bertambah, jadi kuat split berbanding lurus dengan kuat tekan
- Dari hasil uji porositas diperoleh bahwa dengan bertambahnya mikrobakteri maka porositas total dan porositas tertutup yang terjadi semakin kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM C 39 - 03. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. United States: ASTM International, 2003.
- [2] ASTM C 496 - 04. *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. United States: ASTM International, 2004.
- [3] Behnood, Ali, and Masoud Ghandehari. "Comparison of Compressive and Splitting Tensile Strength of High-Strength Concrete With and Without Polypropylene Fiber Sheated to High Temperatures." *Fire Safety Journal* 44, 2009: 1015-1022.
- [4] Hong, Luong T., and Adam S. Lubell. "Phosphate Cement-Based Concretes Containing Silica Fume." *ACI Materials Journal* V.112 No.4, 2015: 587-596.
- [5] Li, Zongjin. *Advanced Concrete Technology*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [6] Magureanu, Cornelia, Ioan Sosa, Camelia Negrutiu, and Bogdan Heghes. "Mechanical Properties and Durability of Ultra-High-Performance Concrete." *ACI Materials Journal* V.109 No.2, 2012: 177-184.
- [7] Mazloom, M., A. A. Ramezani-pour, and J. J. Brooks. "Effect of Silica Fume on Mechanical Properties of High-Strength Concrete." *Cement & Concrete Composites* 26, 2004: 347-357.
- [8] Nili, Mahmoud, and V. Afroughsabet. "The Long-Term Compressive Strength and Durability Properties of Silica Fume Fiber-Reinforced Concrete." *Materials Science and Engineering A* 531, 2012: 107-111.

IV. KESIMPULAN

- Dengan penambahan *silica fume* 0%, 5%, 7,5% dan 10% dari berat binder maka *setting time* yang terjadi cenderung cepat dan juga penambahan mikrobakteri pada pasta membuat *setting time* menjadi semakin lambat
- Semakin bertambahnya variasi *silica fume* dari 0%, 5%, 7,5% dan 10% dari berat binder maka kebutuhan *superplasticizer* juga meningkat, begitu juga dengan penambahan agregat pasir dan kerikil juga mempengaruhi kebutuhan *superplasticizer*
- Semakin bertambahnya variasi *silica fume* dari 0%, 5%, 7,5% dan 10% dari berat binder maka berat volume beton juga berkurang. Berat volume beton berkisar antara 2,35 gr/cm³ – 2,6 gr/cm³. Penambahan mikrobakteri tidak mempunyai pengaruh berat volume beton
- Kuat tekan beton tertinggi ada pada B7,5M (beton dengan *silica fume* 7,5% dan mikrobakteri) sebesar 69,71 MPa