

INFRASTRUKTUR

KARAKTERISITK BETON TERBUAT DARI *TERNARY CEMENTITIOUS SYSTEM*

Characteristic of Concrete made of Ternary Cementitious System

Atur P. N. Siregar

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tadulako, Jl. Soekarno Hatta Km. 9, Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia (94118)

Email: atur_pns@yahoo.com

ABSTRACT

Utilizing industrial waste materials containing pozzolanic compounds has been widely investigated for cement replacement. Fly ash and microsilica are materials having significant pozzolanic compounds and can be used to create ternary cementitious system. Slump of fresh concrete, porosity and compressive strength of hardened concrete were parametric study investigated in this study of ternary cementitious system. Three types of concrete mixtures, i.e. concrete mixture using original Portland cement (OPC) as normal concrete, OPC-fly ash-microsilica without superplasticiser, and OPC-fly ash-microsilica with additional superplasticiser have been investigated. Fresh concrete using fly ash and microsilica demonstrated having higher slump and lower porosity than normal concrete. Compressive strength of concrete using fly ash and microsilica were higher than normal concrete. Utilizing fly ash and microsilica as ternary cementitious system was found to have significant effect on compressive strength and porosity of hardened concrete.

Keywords: *fly ash, microsilica, ternary cementitious system*

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah industri yang memiliki sifat pozzolan banyak digunakan dan dimanfaatkan untuk menggantikan sebagian semen dalam campuran beton. *Fly ash* dan *microsilica* merupakan bahan-bahan bersifat pozzolan dapat dimanfaatkan dalam membentuk *ternary cementitious system*. Nilai slump, porositas dan kuat tekan beton menjadi parameter dalam studi ini dalam melihat karakteristik beton yang menggunakan *ternary cementitious system* berbahan semen, *fly ash* dan *microsilica*. Tiga jenis campuran, yaitu campuran normal yang hanya menggunakan semen OPC sebagai bahan pengikat, campuran menggunakan semen OPC-*fly ash*-*microsilica* tanpa superplasticiser, dan campuran menggunakan semen OPC-*fly ash*-*microsilica* dengan tambahan superplasticiser dibuat untuk dibandingkan karakteristik betonnya. Penggunaan *fly ash* dan *microsilica* memperbaiki nilai slump beton segar serta terbukti memperkecil nilai porositas dari beton sehingga kuat tekan beton yang dihasilkan meningkat sejalan dengan umur beton. Penurunan porositas dan peningkatan kuat tekan beton cukup signifikan dengan penambahan *fly ash* dan *microsilica*.

Kata kunci: *fly ash, microsilica, ternary cementitious system*

PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan yang sangat luas dan umum digunakan dalam konstruksi. Material dasar penyusun beton pada dasarnya sangat banyak tersedia di alam kecuali semen, menyebabkan konstruksi bangunan sangat banyak dirancang menggunakan material beton. Disamping itu proses pemeliharaan bangunan pasca-konstruksi lebih mudah dan sederhana. Oleh karena itu konstruksi yang terbuat dari semen berkecenderungan memiliki biaya konstruksi dan pemeliharaan yang lebih murah bila dibandingkan dengan bangunan yang

terbuat dari bahan dasar lainnya seperti baja, aluminium, dan kayu.

Kuat tekan beton merupakan sifat mekanik yang dominan dimiliki beton dan kemudian menjadi standard dalam menentukan kualitas suatu beton. Faktor utama dalam meningkatkan kuat tekan beton adalah faktor air semen (fas) yang digunakan dalam campuran sebagaimana dirumuskan oleh Abram dalam postulat-nya bahwa dengan type semen, metode test dan umur yang sama, beton tergantung hanya pada faktor semen dan air (Neville dan Brooks, 1990). Semen merupakan bahan pabrikan

yang bersifat hidrolis dan berperan penting dalam meningkatkan mutu beton, akan tetapi bahan ini berharga relatif lebih mahal dibandingkan dengan bahan dasar penyusun beton lainnya. Oleh karena ketergantungan pada semen yang sangat tinggi, maka penelitian berkembang dalam kecenderungan untuk mencari bahan alternatif lain menggantikan dan atau mengurangi penggunaan semen dalam pembuatan beton. Bahan-bahan yang bersifat pozzolan seperti abu sekam padi, *fly ash*, *microsilica*, metakaolin, ggbs merupakan beberapa alternatif bahan yang dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam semen guna mengurangi penggunaannya dalam pembuatan beton. Di samping itu penggunaan bahan tersebut juga berperan dalam meningkatkan sifat mekanis beton.

Ternary cementitious system yang mengandung *fly ash* dan *microsilica* menjadi salah satu cara alternatif guna mengurangi penggunaan semen dalam pembuatan beton dan peningkatan karakteristik beton yang menjadi tujuan dari penelitian ini.

POZOLANIC MATERIAL

a. Fly ash

Fly ash adalah satu dari tiga jenis material hasil sampingan dari kegiatan produksi batu bara yang memiliki sifat pozzolanik. Sebagai bahan hasil sampingan/buangan dari pembakaran batu bara, maka akan menghasilkan sifat fisik dan mekanik (properties) dari *fly ash* yang berbeda-beda sebagaimana terlihat pada **Tabel 1**, sedangkan sifat-sifat fisiknya tercantum pada **Tabel 2**.

Tabel 1. Properti dari *fly ash* (French dan Smitham, 2007)

Negara	Australia	Austria	Canada	France	Europe	Japan	Netherlands	Spain	England	USA
Moisture	<1.0	<1.0	-	-	-	<1.0	<1.0	<1.5	<0.5	<3.0
Loss of ignition	<4.0-6.0	<5.0	<12.0(6.0)	<7.0	<7.0	<5.0	<5.0	<6.0	<7.0	<6.0
SiO ₂	-	-	-	>40	-	>45	-	-	-	-
SiO ₂ + Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<70(50)
MgO	-	-	-	-	-	-	<4.0	-	-	-
CaO ^(total)	-	-	-	-	-	-	<5.0	-	<10	-
CaO ^(free)	-	<5.0	-	-	<1.0(2.5)	-	-	-	-	-
Water-soluble Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na ₂ O + K ₂ O	-	-	-	<6.0	-	-	-	-	-	-
Na ₂ O equivalent	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Available alkalis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO ₃	<3.0	<3.5	-	<2.5	<3.0	-	<2.5	<4.5	<2.0	<5.0
Cl	-	<0.1	-	<0.1	<0.1	-	<0.1	-	<0.1	-
Glass	-	-	-	-	-	-	>70	-	-	-

b. Microsilica

Microsilica atau dikenal juga sebagai *silica fume* adalah hasil sampingan atau buangan dari tanur yang memproduksi silicon dan ferro silicon metal. Microsilica merupakan material dengan bentuk *non-crystalline polymorph silicon dioxide* (Razak, dan Wong, 2011). Pada

dasarnya material ini dalam bentuk *powder* berdiameter rata-rata 150 nm dan memiliki sifat-sifat fisik secara detail seperti terlihat dalam **Tabel 2** dan komposisi material penyusunnya tercantum pada **Tabel 3**.

Tabel 2. Sifat-sifat fisik dari semen, microsilica dan fly ash (Razak, dan Wong, 2011)

Item	OPC	Microsilica	Fly ash
Specific gravity	3.11	2.52	2.22
Average particle size (µm) ²	23	9.50	99.4
Specific surface area (m ² /kg)			
Blaine	340	-	-
Nitrogen absorption (BET)	4200	9500	21300
Standard consistency (%)	27.4	-	-
Setting time (min)			
Initial	110	-	-
Final	300	-	-

Tabel 3. Properti dari microsilica (Razak, dan Wong, 2011)

Composition (%)	Microsilica
SiO ₂	81.35
Al ₂ O ₃	4.48
Fe ₂ O ₃	1.42
CaO	0.80
MgO	1.47
SO ₃	1.34
Na ₂ O	-
K ₂ O	-

STUDI PARAMETERIK

Volume ruang kosong pada beton terhadap volume total concrete yang terdapat dalam beton mengindikasikan tingkat porositas dari beton (Neville, 1995). Tingkat porositas ini berhubungan erat dengan durabilitas beton pada akhirnya. Di samping itu tingkat porositas dari beton juga akan berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Oleh karena itu dalam studi ini parameter yang digunakan sebagai acuan dalam analisis adalah nilai porositas dan kuat tekan beton pada saat berumur 14, 28, dan 56 hari.

Perhitungan porositas beton dilakukan menggunakan persamaan (1) di bawah ini:

$$Porosity (\%) = \frac{W_2 - W_1}{W_2} \dots\dots\dots (1)$$

dengan W1=berat sampel setelah di-oven selama ±24 jam dengan suhu 110°C

W2 =berat sampel yang telah jenuh air

BAHAN DAN METODE

a. Bahan

Bahan yang digunakan dalam study ini adalah agregat kasar berdiameter antara 5 sampai 16 mm dan agregat halus yang digunakan adalah berdiameter antara 4.5 sampai 0.30 mm, semen type I dengan tingkat kehalusan 338 m²/kg, fly ash yang sesuai dengan standar BS EN450-S kategori B, dan microsilica berbasis larutan yang sesuai standar BS EN 12363-1. Superplasticiser berbasis poly-carboxylate polymer juga digunakan dalam studi ini dalam mencapai tingkat workabilitas dari beton yang memadai (120 ± 20 mm) pada salah satu campuran.

Tiga campuran yang berbeda dibuat untuk membandingkan pengaruh dari semen dengan menggunakan bahan tambah fly ash dan microsilica terhadap campuran normal yang umumnya dilakukan. Proporsi dari bahan-bahan penyusun beton tercantum pada Tabel 4.

Tabel 4. Proporsi campuran

Item	Normal	MSFA*	Sp-MSFA**
Cement	1.00	1.00	1.00
Free water	0.31	0.31	0.31
Agregate kasar	2.66	2.66	2.66
Agregate halus	1.14	1.14	1.14
Fly ash	-	0.15	0.15
Silica Fume	-	0.11	0.11
Superplasticiser	-	-	0.002

*MSFA=Microsilica Fly Ash

**Sp-MSFA = Superlaticiser-Microsilica Fly Ash

b. Metode

Kuat tekan beton dilaksanakan dengan menggunakan sembilan benda uji kubus berukuran 100 x 100 x 100 mm sesuai yang disyaratkan pada BS EN 12390: Part 3 (2000), Gambar 2.

Perhitungan kuat tekan beton dilakukan menggunakan persamaan (2) di bawah ini:

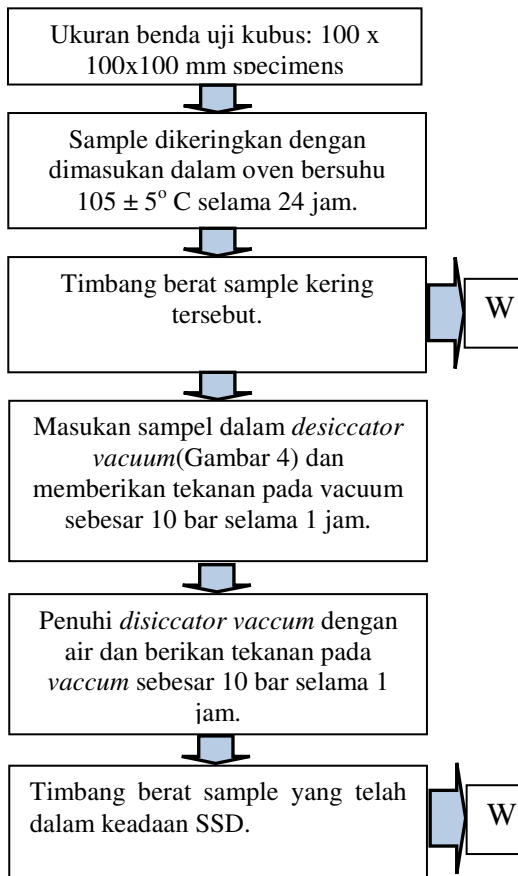
$$f_c = \frac{P_{max}}{A} \dots\dots\dots (2)$$

dengan f_c adalah kuat tekan beton (MPa), P_{max} adalah beban maksimum (N), A adalah luas penampang sampel yang menerima beban tekan (mm²).

Uji porositas beton menggunakan sampel yang sama untuk uji kuat tekan beton yaitu berukuran 100 x 100 x 100 mm dan prosedur pelaksanaannya adalah seperti pada **Gambar 3** dan *vaccum desiccator* untuk memberikan tekanan pada beton sehingga air dan udara dalam beton akan keluar dari dalam beton, **Gambar 4**.



Gambar 2. Alat uji kuat tekan beton



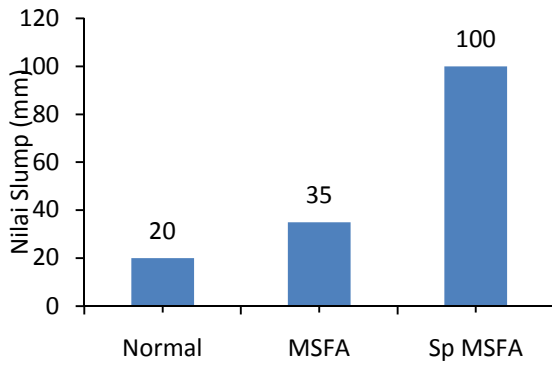
Gambar 3. Diagram alir perhitungan porositas beton



Gambar 4. Alat uji porositas beton (Dessicator Vaccum)

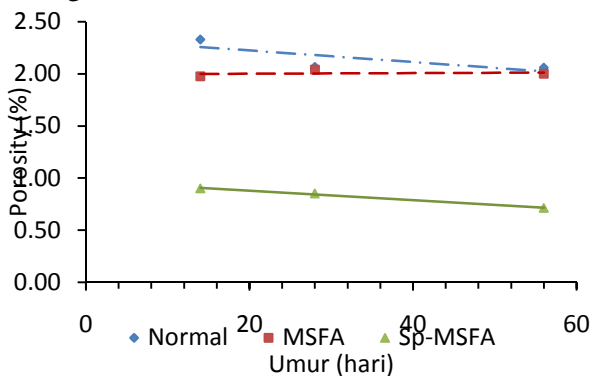
HASIL DAN PEMBAHASAN

Workabilitas dari beton segar yang merupakan produksi dari suatu campuran beton diukur dengan salah satu cara yang relatif sederhana yaitu dengan mengukur besaran jatuhnya beton segar yang dikenal dengan nilai slump. Nilai slump suatu campuran beton dipengaruhi oleh material penyusun beton tersebut dan faktor yang sangat berpengaruh terhadap nilai slump adalah faktor air terhadap semen – fas (Mehta, 1986). Pengaruh penggunaan material-material pozolanik (*fly ash* dan *microsilica*) pada kondisi campuran beton dengan faktor air/semen yang sama yaitu 0.31 terlihat pada **Gambar 5**. Campuran beton dengan menggunakan *fly ash* dan *microsilica* (MSFA) tanpa tambahan *superplasticiser* memiliki nilai slump yang lebih besar dari pada campuran beton normal tanpa tambahan *superplasticiser*. Oleh karena tingkat kehalusan dari *fly ash* dan *microsilica* yang lebih kecil dari pada semen mempengaruhi tingkat workabilitas dari campuran beton menjadi lebih baik, walaupun pengaruhnya relatif tidak signifikan. Oleh karena itu peran *superplasticiser* dalam meningkatkan workabilitas campuran beton sangat dibutuhkan terutama untuk campuran beton yang memiliki faktor air/semen yang cukup rendah seperti halnya yang digunakan dalam penelitian ini. Tanpa mempengaruhi nilai faktor air/semen yang ada, penggunaan *superplasticiser* dengan volume 0.2% dari berat semen akan mempengaruhi tingkat workabilitas campuran beton dengan sangat signifikan (mencapai 100 mm).



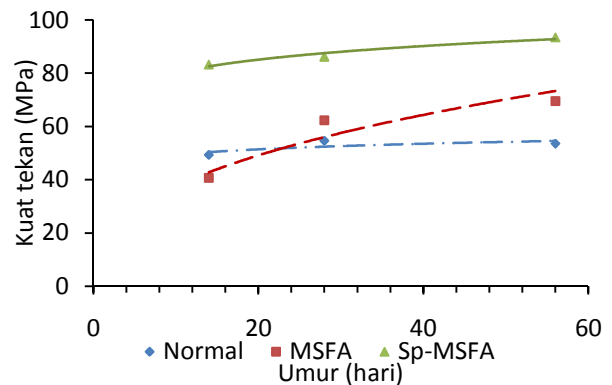
Gambar 5. Nilai slump beton

Besaran porositas dari beton berumur 14, 28 dan 56 hari disajikan pada Gambar 6. Terlihat bahwa campuran yang menggunakan *fly ash* dan *microsilica* akan memiliki nilai porositas beton yang lebih rendah dibandingkan beton normal. Penggunaan *superplasticiser* guna meningkatkan workabilitas beton sangat signifikan dengan menghasilkan tingkat porositas yang sangat rendah. Pada beton dengan tingkat workabilitas yang tinggi akan memudahkan dalam proses pengerjaan campuran tersebut sehingga akan mengalami kondisi tergetarkan/kompaksi secara penuh (fully compaction). Dengan tercapainya kondisi ini maka akan menjamin pasta semen dalam keadaan menyelubungi semua partikel penyusun beton tersebut. Di samping itu tingkat kehalusan *fly ash* dan *microsilica* akan sangat berperan dalam mencegah terjadinya segregasi dan bleeding pada saat pengetaran atau kompaksi campuran beton. Campuran beton dengan kondisi yang tergetarkan secara penuh (fully compaction), tidak mengalami segregasi dan bleeding akan menghasilkan beton tingkat porositas yang rendah. Porositas beton ini akan sangat berperan dalam ketahanan beton dalam menghadapi kerusakan yang disebabkan oleh iklim atau zat-zat aktif yang merusak beton (tingkat durabilitas beton). Rendahnya porositas beton akan meningkatkan durabilitas beton.



Gambar 6. Nilai porositas beton

Kuat tekan beton yang merupakan sifat mekanik utama dari beton dan menjadi parameter yang dipakai untuk mengukur kualitas dari suatu beton. Kualitas beton dari tiga campuran tersebut terlihat pada Gambar 7. Tiga umur beton (14, 28, dan 56 hari) digunakan untuk menganalisa pengaruh dari *fly ash* dan *microsilica* pada kuat tekan beton. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa material-material pozolan tersebut sangat berperan secara signifikan dalam meningkatkan kuat tekan beton. Seperti dijelaskan pada paragraf sebelumnya bahwa sifat fisik *fly ash* dan *microsilica* yang cenderung lebih halus dari semen akan sangat bermanfaat dalam mengurangi efek segregasi dan bleeding campuran beton saat proses pengerjaan beton terutama saat penggetaran atau kompaksi. Sifat mekanik *fly ash* dan *microsilica* sebagai material yang bersifat pozolan akan sangat bermanfaat dalam mentransformasi distribusi ruang pori dalam beton dengan melakukan reaksi dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang tersedia bebas di dalam beton sehingga membentuk kalsium silikat (C-S-H) tambahan (Aitcin, 1998) yang merupakan salah satu komponen penting dalam pembentuk kekuatan beton. Oleh karena itu peran *fly ash* dan *microsilica* sangat penting dalam membentuk *ternary cementitious system* guna menghasilkan beton dengan kuat tekan dan durabilitas tinggi



Gambar 7. Nilai kuat tekan beton

KESIMPULAN

Dari hasil studi ini dapat dihasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan *fly ash* dan *microsilica* dalam membentuk *ternary cement system* sangat berpengaruh terhadap penurunan tingkat porositas beton
2. Peran *superplasticiser* sangat signifikan dalam menghasilkan beton dengan kuat tekan tinggi pada *ternary cement system* yang mengandung *fly ash* dan *microsilica*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aitcin, P. C., (1998), *High performance concrete*, E&FN Spon, New York, USA.
- Construction Engineering & Management*, vol. 135, no. 4, pp. 319-29.
- French, D dan Smitham J., (2007), *Fly ash characteristics and feed coal properties*, Research report 73, QACT Technology transfer Centre, Australia, May 2007.
- <http://majarimagazine.com/2008/06/abu-terbang-batubara-sebagai-adsorben/>.
- Mehta, P. K., (1986), *Concrete structure, properties and materials*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA.
- Neville, A. M. dan Brooks, J. J.,(1990), *Concrete Technology*, Addison Wesley Longman Limited, Updated Revision, UK.
- Neville A. M., (1995), *Properties of concrete*, Longman group Ltd, 4th edition, Essex, UK.
- Ratmaya Urip, (2003), *Teknologi Semen dan Beton: Fly Ash, Mengapa Seharusnya Dipakai pada Beton*, Gresik: PT Semen Gresik Indonesia dan PT.Varia Usaha Beton.
- Razak, H.A dan Wong, H. S. (2011), *Physical properties of ordinary portland cement, metakaolin and silicafume using scanning microscopies*, International journal of sustainable construction engineering & technology 2 (2).
- Sofwan Hadi, (2000), *Pengaruh Ukuran Butir dan Komposisi Abu Terbang PLTU Surabaya sebagai Pengisi dan Pozolan*, <http://digilib.itb.ac.id/go.php?id=jbptit-gdl-s2-2005-robytriaw-1813>.
- Tommelein, ID, Riley, DR and Howell, GA., (1999), *'Parade game: Impact of work flow variability on trade performance'*, *Journal of Construction Engineering & Management*, vol. 125, no. 5, p. 304.
- Velarde, GJ, Saloni, DE, Dyk, Hv and Giunta, M., (2009), *'Process flow improvement proposal using lean manufacturing philosophy and simulation techniques on a modular home manufacturer'*, *Lean Construction Jurnal*, pp. 77-93.
- Walsh, KD, Sawhney, A and Bashford, HH., (2007), *'Production Equations for Unsteady-State Construction Processes'*, *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 133, no. 3, pp. 254-61.
- Winch, GM., (2006), *'Towards a theory of construction as production by projects'*, *Building Research & Information*, vol. 34, no. 2, pp. 154 - 63.