

TINJAUAN PENAMBAHAN MICROSILICA DAN FLY ASH TERHADAP KUAT TEKAN BETON MUTU TINGGI

In Damayanti* Abdul Rochman**

In Damayanti., alumnus jurusan Teknik Sipil, Univ. Muhammadiyah Surakarta.

Abdul Rochman, staf pengajar jurusan Teknik Sipil, Univ. Muhammadiyah Surakarta.

ABSTRAKSI

Kerusakan beton lebih banyak disebabkan oleh kerusakan pasta semen, dan jarang diakibatkan oleh kehancuran agregat, maka untuk meningkatkan kekuatan beton dapat dilakukan dengan cara memperbaiki kekuatan pasta semen. Ada berbagai cara yang dapat dilakukan, antara lain pemakaian faktor air-semen (f.a.s) rendah, dan penambahan zat tambah mineral seperti mikrosilika, silica fume, maupun abu terbang (fly ash). Permasalahan kelecakan (workability) yang diakibatkan pemakaian faktor air-semen yang rendah dapat diatasi dengan menambahkan zat pengencer seperti plasticizer atau super plasticizer.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan mikro silika dan fly Ash terhadap kuat tekan beton. Adukan beton dibuat dengan menggunakan f.a.s. 0,30 dan 0,40. Perencanaan campuran menggunakan cara coba-coba berdasarkan formulasi Feret yang telah dimodifikasi oleh de Larrad. Komposisi penambahan mikrosilika dan fly Ash adalah 0%:0%; 0%:10%; 2,5%:7,5%, 5%:5%; 7,5%:2,5%; 10%:0%. Benda uji dibuat berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Dari hasil penelitian diperoleh, nilai slump akan semakin besar dengan bertambahnya kadar mikrosilika dan berkurangnya kadar fly Ash.

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa nilai slump adukan semakin besar seiring dengan bertambahnya kadar mikrosilika dan berkurangnya fly ash. Nilai slump tertinggi adalah 9 cm pada f.a.s 0,30 untuk komposisi mikrosilika:fly ash = 10%:0%. Berat jenis beton semakin menurun dengan meningkatnya kadar mikrosilika yang diikuti dengan pengurangan fly ash, nilai tertinggi diperoleh pada komposisi mikrosilika:fly ash = 0%:10%, yaitu 2,448 gram/cm³. Kuat-tekan beton juga semakin besar seiring dengan bertambahnya kadar mikrosilika dan berkurangnya fly ash. Nilai tertinggi adalah 66,736 MPa pada f.a.s 0,30 dan 59,456 MPa untuk f.a.s. 0,40 untuk komposisi mikrosilika:fly ash = 10%:0%.

Kata kunci: mikrosilika, fly ash, komposisi, kuat-tekan

PENDAHULUAN

Pada dekade terakhir, teknologi beton telah mengalami perkembangan yang sangat pesat, sedemikian rupa hingga pada saat ini beton merupakan material konstruksi yang cukup bersaing. Hal ini tidak lain disebabkan karena keberhasilan mengembangkan beton mutu tinggi (*high strength concrete*). Penggunaan beton mutu tinggi sangatlah menarik, karena biaya ekstra yang dikeluarkan untuk produksi beton tersebut seringkali lebih kecil dibandingkan dengan penghematan konstruksi yang didapat, terutama dari balok, plat, kolom dan pondasi.

Beton mutu tinggi yang mempunyai kuat-tekan 60 MPa sampai 150 MPa terdiri dari portland cement, agregat, bahan tambah kimia (*superplasticizer*), dan bahan tambah mineral seperti mikrosilika, atau abu terbang (*fly ash*). Akibat mahalannya bahan-bahan tambah, maka penting sekali dilakukan optimalisasi campuran. Juga perlu

diperhatikan beberapa kekurangan dari beton mutu tinggi, seperti panas hidrasi yang berlebihan dan *slump loss* yang cepat.

Beton adalah campuran dari empat bahan pokok yaitu; semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (batu pecah), dan air. Campuran tersebut jika dituang dalam cetakan kemudian dibiarkan, maka akan mengeras seperti batuan. Pengerasan ini terjadi akibat adanya reaksi kimia antara air dan semen, dan hal ini berjalan sesuai dengan berjalannya waktu sehingga kekerasan beton tergantung dengan umur campurannya. Sebagai bahan struktur, maka perlu diketahui dari beton akan sifat-sifatnya seperti; kekuatannya, kekakuannya, kedapannya air, keawetan maupun ketahanan terhadap cuaca, dan beberapa sifat tersebut dapat digambarkan dengan kuat-tekan beton sehingga mutu beton biasanya cukup ditinjau dari kuat-tekanannya saja. Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap kuat-tekan beton antara lain;

1. Faktor air-semen.

Faktor air-semen yang merupakan perbandingan berat antara berat air dan berat semen yang dipakai pada campuran beton mempunyai pengaruh yang besar terhadap tingkat kelecakan adukan dan kuat-tekan beton. Semakin besar nilai f.a.s. suatu campuran beton maka semakin mudah pengerjaannya, namun kuat tekan beton yang dihasilkan menjadi semakin rendah. Dan kebalikannya semakin kecil nilai f.a.s. suatu campuran beton maka kuat tekan beton yang dihasilkan menjadi semakin tinggi, namun adukan beton semakin sukar dikerjakan atau pematatannya menjadi lebih sulit. Pada dasarnya semen membutuhkan air sekitar 30% berat semen untuk bereaksi secara sempurna.

2. Jenis dan jumlah semen.

Jenis semen ikut menentukan kuat-tekan beton, hal ini terkait dengan komposisi yang senyawa kimia yang terkandung dalam semen. Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia membagi semen Portland dalam 5 jenis. Pembagian tersebut berdasarkan pada; kecepatan reaksi hidrasi, panas hidrasi yang ditimbulkan, serta ketahanannya terhadap senyawa sulfat.

Disamping jenis semen, jumlah semen yang terkandung dalam adukan beton juga ikut mempengaruhi kuat-tekan beton. Jika f.a.s sama, beton dengan kandungan semen lebih sedikit akan menghasilkan kuat-tekan lebih tinggi sebab jumlah semen sedikit berarti jumlah air sedikit, pasta semennya juga sedikit yang berarti kandungan porinya juga lebih sedikit sehingga kepadatan beton semakin tinggi, namun pematatannya semakin sulit.

3. Kekuatan agregat

Agregat yang biasanya menempati sekitar 65% sampai 80% dari volume beton, maka sifat-sifat agregat ini mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku beton setelah mengeras termasuk kuat-tekannya. Sifat-sifat agregat yang berpengaruh terhadap kuat tekan beton antara lain; kekerasan, bentuk dan tekstur permukaan, serta ukuran maksimum butirannya. Kekerasan berhubungan dengan kekuatannya, bentuk dan tekstur berhubungan dengan daya lekat agregat dengan pasta semen, dan ukuran maksimum butiran berhubungan dengan volume pori adukan beton.

Kerusakan beton umumnya disebabkan oleh kegagalan pasta-semen yang berfungsi sebagai bahan pengikat agregat, dan bukannya disebabkan karena kehancuran agregat. Agregat yang dimaksud adalah agregat dengan kualitas rata-rata atau yang sering digunakan di berbagai pekerjaan. Dari kenyataan ini dapat ditarik suatu konsep bahwa, untuk membuat beton yang mempunyai kekuatan lebih tinggi dapat

dilakukan dengan meningkatkan kekuatan pasta-semen. Kekuatan pasta semen tergantung pada jenis semen yang dipakai, besar-kecilnya faktor air-semen, serta jenis bahan tambah yang digunakan. Disamping beberapa faktor tersebut, perbaikan gradasi dan kualitas agregat juga merupakan variabel yang penting.

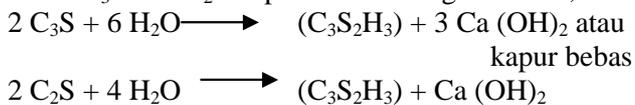
Secara singkat dapat diringkas, bahwa untuk meningkatkan kekuatan beton dapat dilakukan dengan mengikuti tiga konsep dasar berikut :

1. Peningkatan kekuatan pasta semen, yang dapat dilakukan dengan cara :
 - a. Pengurangan porositas pasta, yaitu dengan mengurangi faktor air-semen. Pengurangan faktor air-semen berarti mengurangi tingkat kelecakan adukan sehingga mempersulit pengerjaannya, maka untuk perlu digunakan plasticizer atau superplasticizer untuk mengencerkan adukan beton.
 - b. Pemakaian '*mineral admixtures*' seperti mikrosilika, silica fume atau abu terbang (*fly ash*). Pemakaian zat tambah di atas dapat mengikat kapur bebas membentuk senyawa *Calcium-Silicate-Hydrate (C.S.H. gel)* yang dapat berfungsi sebagai filler (pengisi) yang mengisi celah-celah yang masih terdapat di antara agregat pada campuran beton.
2. Pemilihan kualitas agregat (kasar dan halus) yang baik, yaitu ditinjau terhadap kekerasan, kepadatan (dari berat jenisnya), bentuk butiran, tekstur permukaan, kandungan lumpur, kandungan zat organik serta variasi butiran yang beragam atau gradasi butiran yang baik
3. Peningkatan kuat-lekat antara pasta-semen dengan agregat yang dapat dilakukan dengan memberikan bahan tambah seperti klinker, mikrosilika, serta pemilihan bentuk agregat yang bentuknya menyudut serta tekstur permukaannya yang kasar.

Semen Portland adalah bahan perekat hidrolis yang terdiri dari senyawa kapur, silika dan aluminat. Semen dibuat dari batu kapur (CaCO_3), tanah liat, dan batuan yang mengandung silika dan aluminat yang dicampur pada perbandingan tertentu dan dibakar pada suhu 1550°C sehingga terbentuk menjadi clinker. Kemudian clinker dihaluskan sampai halus seperti bubuk. Sebagai hasil perubahan, susunan kimia semen sangat kompleks, namun demikian terdapat 4 unsur yang paling penting yaitu;

- a. Trikalsium silikat (C_3S) atau $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$
- b. Dikalsium Silikat (C_2S) atau $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$
- c. Trikalsium Aluminat (C_3A) atau $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$
- d. Tetrakalsium aluminoforit (C_4F) atau $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$

Unsur Trikalsium silikat dan Dikalsium Silikat biasanya merupakan 70 sampai 80% dari semen sehingga merupakan bagian yang paling dominan dalam memberikan sifat semen (lihat gambar 3). Semen dapat membentuk pasta ketika dicampurkan dengan sejumlah air, dan menjadi pengikat agregat dalam campuran beton. Kecepatan pengikatannya tergantung beberapa faktor antara lain; (a) kehalusan butiran, semakin halus butiran semen maka semakin cepat waktu pengikatan; (b) suhu, waktu pengikatan semakin cepat jika suhu semakin tinggi; (c) jumlah air, semakin sedikit air yang digunakan maka semakin cepat waktu pengikatan. Proses hidrasi pada semen sangat kompleks, tidak semua reaksi dapat diketahui secara rinci. Rumus proses kimia untuk reaksi hidrasi dari unsur C₃S dan C₂S dapat ditulis sebagai berikut,



Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta menjadi bahan pelumas antara butiran agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Karena pengerasan beton banyak dipengaruhi reaksi antara semen dan air, maka air yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat tertentu.

Agregat digunakan sebagai bahan pengisi, karena itu untuk mendapatkan beton yang baik diperlukan agregat yang berkualitas bagus sehingga dapat memberikan stabilitas volume dan keawetan yang lebih baik sebagai beton berkekuatan tinggi. Persyaratan umum agregat antara lain; butirannya tajam dan bersudut, kuat dan bersifat kekal, bergradasi baik, tidak mengandung tanah atau kotoran lain, tidak mengandung garam-garaman dan zat organik.

Berdasarkan penelitian, agregat yang dapat dipakai untuk beton adalah yang mempunyai; porositas sekitar 35% - 40%, kepampatan sekitar 60% - 65%, Berat jenis 2,40 – 2,90 dan berat satuan 1,20 – 1,80. Khusus untuk beton mutu tinggi diperlukan agregat yang porositasnya terendah atau kepampatan tertinggi, serta berat jenis atau berat satuan terbesar.

Bahan tambah ialah bahan selain unsur pokok beton yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum, segera atau selama pengadukan beton segar dengan tujuan mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras, misalnya; mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah kuat tekan, menambah daktilitas, mengurangi retak-retak pengerasan, dan sebagainya.

Pada beton mutu tinggi yang dimaksud sebagai bahan tambah kimia adalah bahan pengencer adukan, seperti plasticizer atau superplasticizer.

Penggunaan bahan tambah ini dimaksudkan untuk mendapatkan sifat kemudahan pengerjaan (*workability*) beton pada kadar air yang sangat minimum sehingga tetap dapat dihasilkan '*flowing concrete*', karena mengikat beton mutu tinggi dibuat dengan faktor air-semen yang rendah.

Mikrosilika merupakan produk sampingan dari suatu proses industri '*silicon metal*'. Silicon didapat dari hasil pembakaran quartz dalam suatu tungku listrik dengan bahan pembantu charcoal berkualitas tinggi. Quartz mengandung 99% SiO₂. Mikrosilika yang umumnya punya kandungan SiO₂ akan bereaksi dengan kapur bebas atau Ca(OH)₂ yang merupakan sisa reaksi dari proses hidrasi semen. Reaksi tersebut membentuk 3CaO.2SiO₂.3H₂O atau *Calcium-Silicate-Hydrate (C.S.H. gel)* yang dapat mengisi celah-celah yang masih terdapat di antara agregat pada campuran beton sehingga kepadatan beton yang dihasilkan semakin tinggi.

Dari hasil-hasil penelitian, didapatkan bahwa penggunaan mikrosilika dapat memperbaiki atau meningkatkan sifat-sifat beton seperti kuat tekan beton, permeabilitas beton, keawetan beton, ketahanan beton terhadap korosi, sulphate, chloride, dan api. Disamping itu juga mengurangi tingkat susut (*shrinkage*) dan rangkak (*creep*) pada beton

Perancangan campuran beton mutu tinggi hampir sama dengan perancangan campuran beton normal. Perbedaannya adalah pada beton mutu tinggi dibuat dengan mengambil faktor air-semen yang lebih rendah dari beton normal sehingga harus ditambah dengan bahan plasticizer atau superplasticizer. Disamping itu masih ditambah dengan bahan tambah mineral seperti mikrosilika atau silica fume, sehingga menjadikan perancangan beton mutu tinggi menjadi lebih kompleks, karena harus memperhitungkan lebih banyak parameter. Metode perancangan yang sering digunakan selama ini adalah metode *trial mix* atau metode coba-coba. Dalam perancangan campuran dianggap bahwa, kekuatan agregat kasar selalu lebih tinggi dari kekuatan pasta semennya.

METODE PENELITIAN

1. Bahan penelitian

Bahan – bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah :

- a). Semen yang digunakan adalah semen merk Gresik jenis I.
- b). Agregat halus berupa pasir, berasal dari Muntilan, Jawa Tengah.
- c). Agregat kasar berupa batu pecah, berasal dari Sambu, Boyolali, Jawa Tengah.

- d). Air yang dipakai adalah air dari Laboratorium Bahan Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- e). Bahan tambah berupa *mikrosilika* jenis *silica fume*, produksi PT. SIKA NUSA PRATAMA, Bogor dan *fly ash type C* dari PLTU Paiton, Jawa Timur.

2. Peralatan penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini sebagian besar tersedia di Laboratorium Bahan Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta dan ada satu alat dari PT. Indomix. Alat – alat tersebut antara lain : ayakan *standard*, penggetar ayakan, timbangan, gelas ukur, *oven*, *desicator*, *kerucut conus*, kerucut *Abram's*, tongkat baja, cetakan silinder, bak perendam sampel, mesin uji tekan beton dan mortar, mesin uji *Los Angeles*, *volumetric flash*, dan peralatan penunjang lain.

3. Pemeriksaan bahan

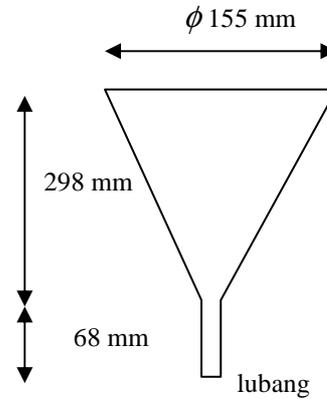
Sebelum digunakan, dilakukan terlebih dahulu pemeriksaan/pengujian kualitas bahan susun beton. Untuk pasir meliputi pemeriksaan kadar lumpur, kandungan zat organik, berat jenis, dan gradasi. Sedangkan untuk agregat kasar meliputi uji kekerasan (dengan mesin Los Angeles), uji berat jenis, berat satuan, juga gradasinya.

4. Perencanaan campuran

Setelah data-data berkenaan dengan kualitas bahan susun diketahui, kemudian dilakukan perencanaan campuran dengan langkah-langkah seperti yang telah diuraikan di uraian sebelumnya. Proses perancangan beton mutu tinggi berdasarkan komposisi beton normal dapat dilakukan sebagai berikut :

- a). Menentukan campuran dasar untuk mutu beton tertentu yang mengandung sejumlah superplasticizer yang cukup banyak yang bersama-sama dengan semen membutuhkan air yang paling sedikit untuk gradasi agregat pada umumnya. Jumlah semen yang dibutuhkan berkisar 425 – 500 kg/m³. Faktor air-semen diambil berkisar 0,25 – 0,30. Dalam penelitian ini digunakan f.a.s. 0,30 dan 0,40.
- b). Menentukan prosentase mikrosilika atau silica fume sebagai pengganti semen untuk bermacam-macam variasi campuran.
- c). Menentukan prosentase superplasticizer yang optimum untuk masing-masing variasi campuran dengan melakukan percobaan *Marsh Cone Test* (lihat gambar 4.). Pengujian mula-mula dilakukan terhadap campuran dasar pertama. Pada percobaan pertama, adukan belum ditambah super plasticizer atau kandungan superplasticizernya 0 %, percobaan kedua dengan menambah superplasticizer 0,5 %, kemudian pada percobaan

berikutnya kandungan superplasticizer ditambah sedikit demi sedikit. Setiap penambahan dihitung *flowing-time*-nya. Penambahan dilakukan hingga perubahan *flowing-time*-nya kecil. Pengujian yang serupa dilakukan terhadap variasi campuran yang telah ditentukan pada poin 2).



Gambar 1. Alat Marsh Cone Test

- d). Menentukan rancangan campuran beton mutu tinggi dengan memakai rancangan agregat dan volume pasta seperti pada beton normal, tetapi dimodifikasi pada jumlah air untuk memperhatikan kelembaban agregat. Untuk agregat yang tidak porous dan mutunya baik, jumlah air yang diserap agregat ini lebih kurang dari 10 – 20 l/m³. Sebagai harga awal dapat diambil nilai-nilai perkiraan yang diberikan beberapa literatur yaitu, rasio agregat-semen berkisar antara 3,25 – 3,75, rasio pasir-agregat total sekitar 0,30-0,50.
- e). Memperkirakan kuat tekan beton dengan menggunakan rumus Feret yang telah dimodifikasi oleh Larrard yaitu sebagai berikut :

$$f_{cm}' = \frac{K_g \cdot R_c}{\left[1 + \frac{3,1 \cdot w / c}{1,4 - 0,4e^{(-11(s/c+f/c))}} \right]^2} \dots\dots\dots (1)$$

$$f_{cm}' = K_g \cdot B_c \dots\dots\dots (2)$$

$$B_c = \frac{R_c}{\left[1 + \frac{3,1w / c}{1,4 - 0,4e^{(-11(s/c+f/s))}} \right]^2} \dots\dots\dots (3)$$

dengan :

- f_{cm}' = kuat tekan target beton (MPa).
- R_c = kuat tekan *mortar* semen pada 28 hari (MPa) dengan proporsi campuran 3 pasir : 1 semen : 0,5 air (dalam proporsi berat).
- w/c = rasio air semen (rasio berat)

Tabel 1. Komposisi bahan susun untuk 1 m³ adukan beton.

f.a.s	Bahan ((kg)	Proporsi bahan tambah (%)					
		MS*:FA**	MS:FA	MS:FA	MS:FA	MS:FA	MS:FA
		0:0	0:10	2,5:7,5	5:5	7,5:2,5	10:0
0,30	Semen	524,38	514,14	513,62	513,35	512,82	512,80
	Pasir	734,14	719,79	719,05	718,68	717,95	717,21
	Kerikil	1101,21	1079,69	1078,58	1078,03	1076,92	1075,82
	Air	157,32	154,24	154,08	154,0	153,85	153,69
	Mikrosilika	0	0	12,84	25,67	38,46	51,23
	Fly Ash	0	51,41	38,52	25,67	12,82	0
	TOTAL	2517,05	2519,27	2516,68	2515,41	2512,82	2510,25
0,40	Semen	448,26	489	488,52	488,28	487,80	487,33
	Pasir	697,56	684,6	683,93	683,59	682,93	682,26
	Kerikil	1046,34	1026,89	1025,69	1025,39	1024,39	1023,39
	Air	199,38	195,60	195,41	195,31	195,12	194,95
	Mikrosilika	0	0	12,21	24,41	36,59	48,73
	Fly Ash	0	48,9	36,64	24,41	12,20	0
	TOTAL	2391,54	2408,99	2442,60	2441,39	2439,03	2387,93

* MS : mikrosilika

** FA : fly ash

s/c = kadar *mikrosilika* yang ditambahkan (terhadap berat semen)

f/c = kadar *fly ash* yang ditambahkan (terhadap berat semen)

B_c = besaran dasar kuat tekan beton

K_g = konstanta dasar campuran beton yang besarnya tergantung dari tipe agregat yang digunakan dan kondisi lokal lainnya. Nilainya diambil 4,64.

f). Jika terjadi perbedaan antara hasil percobaan dengan hasil hitungan rumus di atas, maka kembali ke langkah 1) dengan mengubah parameter-parameter lain.

Hasil perencanaan campuran dapat dilihat pada Tabel 1 di atas.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Kualitas bahan susun

Hasil pemeriksaan kualitas agregat halus (pasir), dan agregat kasar (kerikil) dirangkum pada Tabel 2. di bawah.

Tabel 2. Hasil pemeriksaan bahan

Bahan	Jenis pengujian	Hasil pengujian
PASIR	Kadar lumpur sebelum dicuci	12,481 %
	Kadar lumpur setelah dicuci	1,388 %
	Kandungan bahan organik	Warna putih jernih
	Nilai <i>Saturated Surface Dry</i>	3,567 cm
	<i>Bulk specity gravity</i>	2,579 gram/cm ³
	<i>Bulk specity gravity SSD</i>	2,612 gram/cm ³
	<i>Apparent specific gravity</i>	2,667 gram/cm ³
	<i>Absorption</i>	1,276 %
	Modulus halus butir	2,320

KERIKIL	Keausan agregat batu pecah	10,952 %
	<i>Bulk specity gravity</i>	2,738 gram/cm ³
	<i>Bulk specity gravity SSD</i>	2,787 gram/cm ³
	<i>Apparent specific gravity</i>	2,879 gram/cm ³
	<i>Absorption</i>	1,792 %
	Berat satuan volume	1,522 gram/cm ³
	Modulus halus butir	6,613

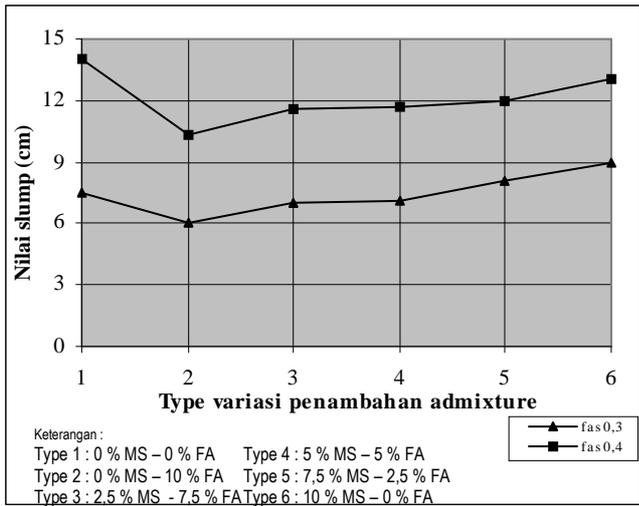
Dari Tabel 2. terlihat bahwa, secara umum kualitas bahan susun sudah cukup baik dan telah memenuhi persyaratan seperti yang diatur dalam Peraturan Umum Bahan bangunan Indonesia (PUBI) 1982. Kandungan organik, berat jenis, berat satuan, modulus halus butir, *absorption*, maupun kekerasan agregat semuanya masuk dalam kisaran spesifikasi yang disyaratkan peraturan. Untuk kandungan lumpur pada pasir, sebelumnya tidak memenuhi syarat yaitu sebesar 12,481 % (lebih dari 5 %), namun setelah dilakukan pencucian, kadar lumpurnya menjadi 1,388 % sehingga akhirnya memenuhi persyaratan.

2. Workabilitas adukan

Untuk mengukur tingkat kelecakan adukan (workabilitas) dilakukan pengujian nilai slump dengan memaki kerucut Abrams. Pengujian dilakukan setelah adukan beton diyakini sudah merata. Hasil pengujian slump dapat dilihat pada Tabel 3 dan dapat juga dilihat pada Gambar 2.

Tabel 3. Hasil pengujian slump.

Kadar <i>admixture</i>		f.a.s : 0,30	f.a.s.: 0,40
Mikrosilika	<i>Fly ash</i>	<i>Slump</i> rata-rata (cm)	<i>Slump</i> rata rata (cm)
0 %	0 %	7,467	14,0
0 %	10 %	6,0	10,333
2,5 %	7,5 %	7,033	11,6
5 %	5%	7,067	11,7
7,5 %	2,5 %	8,1	12,0
10 %	0 %	9,0	13,033



Gambar 2. Grafik hubungan variasi penambahan admixture dengan nilai slump.

Dari Gambar 2. dapat diketahui bahwa nilai slump pada adukan dengan f.a.s 0,40 lebih tinggi dibandingkan adukan dengan f.a.s 0,30. Hal ini dikarenakan dari perbedaan jumlah air yang digunakan yang ternyata memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap kelecakan adukan beton.

Nilai slump tertinggi diperoleh pada adukan type 6 (MS:FA = 10%:0%) pada f.a.s 0,40, nilai ini semakin mengecil seiring dengan berkurangnya mikrosilika dan bertambahnya fly ash. Nilai terkecil diperoleh pada adukan type 2 (MS:FA = 0%:10%) pada f.a.s. 0,30, nilai ini akan semakin membesar seiring dengan penambahan mikrosilika dan berkurangnya fly ash. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan mikrosilika dapat menambah tingkat kelecakan beton, sedangkan penambahan fly ash akan mengurangi tingkat kelecakan beton.

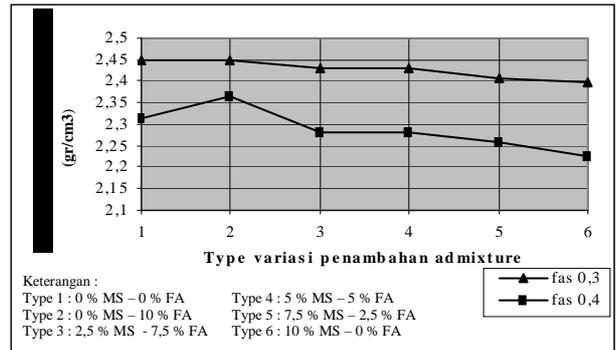
3. Berat jenis beton

Pengujian berat jenis beton dilakukan terhadap benda uji silinder sebelum dilakukan pengujian tekan. Hasil pengujian berat jenis beton dapat dilihat pada Tabel 4. dan juga dapat dilihat di Gambar 3.

Tabel 4. Hasil pengujian berat jenis beton.

Kadar admixture		f.a.s : 0,30	f.a.s : 0,40
Mikrosilika	Fly ash	Berat jenis rata-rata (gram/cm ³)	Berat jenis rata-rata (gram/cm ³)
0 %	0 %	2,447	2,314
0 %	10 %	2,448	2,365
2,5 %	7,5 %	2,430	2,282
5 %	5 %	2,429	2,280
7,5 %	2,5 %	2,399	2,258
10 %	0 %	2,406	2,224

Dari Tabel 4. juga dari Gambar 3 terlihat bahwa berat jenis beton pada benda uji dengan f.a.s 0,30 lebih tinggi dibanding f.a. 0,40 yaitu rata-rata sebesar 6,5%.



Gambar 3. Grafik hubungan variasi penambahan admixture dengan berat jenis beton.

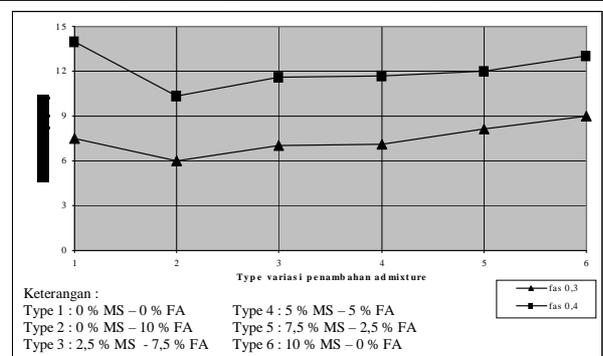
Dari Gambar 3. juga terlihat, bahwa berat jenis beton dengan semakin menurun seiring dengan bertambahnya mikrosilika dan bertambahnya fly ash. Hal ini dikarenakan berat jenis mikrosilika yang sebesar 2,225 gr/cm³ lebih kecil dibandingkan dengan berat jenis fly ash yaitu sbesar 2,640 gr/cm³. Namun secara umum dapat disimpulkan bahwa penambahan bahan tambah mikrosilika dan fly ash tidak mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap berat jenis beton.

4. Kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan dilakukan setelah benda uji silinder berumur 28 hari. Pengujian dilakukan dengan mesin uji tekan merk Patra yang memiliki kapasitas 2000 kN. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5. juga dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 5. Hasil pengujian kuat tekan beton.

Kadar admixture		f.a.s : 0,30	f.a.s : 0,40
Mikrosilika	Fly ash	Kuat tekan rata-rata (MPa)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
0 %	0 %	56,400	40,838
0 %	10 %	62,379	47,629
2,5 %	7,5 %	63,888	49,798
5 %	5 %	63,756	49,703
7,5 %	2,5 %	66,586	54,985
10 %	0 %	69,736	59,456



Gambar 4. Grafik hubungan variasi penambahan admixture dengan kuat tekan beton.

Dari Tabel 5. terlihat bahwa, kuat-tekan benda uji silinder beton dengan f.a.s. 0,30 lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji dengan f.a.s. 0,40 yaitu rata-rata sebesar 28,2 %. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan jumlah pemakaian semen yang cukup besar, misal untuk beton normal (tanpa bahan tambah) pada f.a.s 0,30 memerlukan semen sebesar 524,38 kg dan pada f.a.s. 0,40 hanya sebesar 448,26 kg.

Dari Tabel 5. juga terlihat bahwa, penambahan bahan tambah baik mikrosilika maupun *fly ash* dapat mempertinggi kuat-tekan beton. Penambahan mikrosilika sebesar 10 % pada beton normal dengan f.a.s. 0,30 dapat menaikkan kuat tekan sebesar 23,6 %, dan pada f.a.s. 0,40 menaikkan sebesar 45,6 %. Sedangkan penambahan *fly ash* sebesar 10 % pada beton normal dengan f.a.s. 0,30 dapat menaikkan kuat tekan sebesar 10,6 %, dan pada f.a.s. 0,40 menaikkan sebesar 16,6 %. Dari Tabel 5. juga terlihat bahwa, penambahan kuat tekan beton semakin membesar seiring dengan bertambahnya kadar penambahan mikrosilika dan berkurangnya kadar *fly ash*. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan mikrosilika dan *fly ash* baik secara terpisah maupun bersama-sama dapat memperbaiki kuat tekan beton, namun dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa mikrosilika memiliki

kinerja yang lebih baik dibanding *fly ash* dalam memperbaiki kuat tekan beton.

KESIMPULAN

Dari uraian hasil penelitian dan pembahasan diatas dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1). Secara umum, bahan susun beton yang dipakai adalah memenuhi spesifikasi persyaratan sehingga dapat dipakai untuk penelitian.
- 2). Penambahan mikrosilika dapat menambah tingkat kelecakan beton, namun sebaliknya penambahan *fly ash* akan mengurangi tingkat kelecakan beton.
- 3). Penambahan mikrosilika dan *fly ash* tidak mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap berat jenis beton.
- 4). Kuat tekan beton dengan fas 0,3 lebih besar bila dibandingkan dengan beton yang menggunakan fas 0,4.
- 5). Penambahan mikrosilika dan *fly ash* baik secara terpisah maupun bersama-sama dapat memperbaiki kuat tekan beton.
- 6). Bahan tambah mikrosilika memiliki kinerja yang lebih baik dibanding *fly ash* dalam memperbaiki kuat tekan beton.

BAHAN REFERENSI

- Anonim, 1982, *Persyaratan Umum Bahan Bangunan Indonesia*, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Gambir, M. I., 1986, *Concrete Technology*, Mc Graw Hill, New Delhi.
- Gideon, H. K., 1991, "*Rancang Campur Beton Mutu Tinggi*", Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Lydon, F. D., 1982, *Concrete Mix Design*, Applied Science Publisher, London & New York.
- Tjokrodinuljo, 1996, *Teknologi Beton*, Penerbit Nafiri, Jogjakarta.
- Supartono, F.X., 1996, "*Rancang Campuran Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Formulasi Feret yang Diidentifikasi Pada Kondisi Lokal*", Jurusan Teknik Sipil, FT-UI, Jakarta.