

SIFAT *RHEOLOGY* SEMEN PASTA DITINJAU DARI CAMPURAN MATERIAL PENYUSUNNYA DAN PENGGUNAAN *SUPERPLASTICIZER*

Ignatius Kevin Wibowoputra¹, Christian Wanandi², Antoni³, Effendy Tanojo⁴

ABSTRAK : *Rheology* merupakan salah satu tolak ukur yang baik untuk menentukan sifat dari beton segar seperti kelecakan, kepadatan, dan sifat air dalam beton. *Rheology* suatu campuran sangat dipengaruhi oleh *ratio volume* air dan *powder* (V_w/V_p), jumlah air dan jumlah *powder* serta jenis dan jumlah *superplasticizer* yang digunakan dalam campuran. Pada penelitian ini, beberapa material yang akan diteliti antara lain semen, *fly ash*, *calcium carbonate*, *silica fume* dan kombinasinya. Penggunaan material *cementitious* berujuan untuk mengurangi banyaknya penggunaan semen karena hal ini menyebabkan temperatur pengecoran tinggi dan penyusutan jangka panjang yang lebih tinggi. Selain itu, penggunaan semen yang berlebihan juga boros dalam biaya. Material seperti *silica fume* dan *calcium carbonate* berguna sebagai partikel pengisi antara rongga-rongga semen agar didapatkan suatu campuran yang lebih padat. Dalam penelitian ini, variasi dari v_w/v_p dan penggunaan *superplasticizer* dalam skala kecil akan lebih diperhatikan.

Pada penelitian ini didapat bahwa *fly ash* menunjukkan kebutuhan air yang paling sedikit jika dibandingkan material lain. Selain itu, penambahan *fly ash* ke dalam pasta semen mampu meningkatkan *flowability* jika dibandingkan dengan semen saja. Campuran semen dan *silica fume* menunjukkan kebutuhan *superplasticizer* yang menurun drastis jika dibandingkan dengan *silica fume* secara individu. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tiap material membutuhkan air dan *superplasticizer* yang berbeda-beda dan tiap material juga memiliki sifat yang berbeda.

KATA KUNCI : *rheology*, *flow diameter*, viskositas, semen, *fly ash*, *calcium carbonate*, *silica fume*, *superplasticizer*.

1. PENDAHULUAN

Portland Cement (PC) merupakan bahan utama dalam pembuatan beton yang sering digunakan dalam dunia konstruksi. Namun, lama kelamaan bahan dasar pembuatan *Portland Cement* tersebut akan habis dan harganya akan bertambah mahal. Di lain pihak, ada beberapa bahan yang diketahui dapat menjadi bahan tambahan / pengganti ke dalam campuran semen yang disebut *cementitious materials*. Penggunaan *cementitious materials* ke dalam campuran semen memiliki beberapa kelebihan antara lain karena penggunaan semen yang terlalu banyak juga tidak bagus karena akan menyebabkan temperatur pengecoran yang tinggi dan penyusutan dalam jangka panjang.

Dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, diketahui bahwa *cementitious materials* seperti *fly ash* (FA), *ground granulated blast furnace slag* (BFS) dan *silica fume* (SF) mampu meningkatkan sifat *rheology* yang berkaitan dengan *flowability* mortar. (Park, Noh, & Park, 2004)

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, kevink0mang@hotmail.com

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, christianwanandi@yahoo.co.id

³Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, antoni@petra.ac.id

⁴Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra effendy@petra.ac.id

Penelitian sebelumnya mendasari untuk diteliti lebih lanjut bagaimana sifat *rheology* dari bahan-bahan cementitious secara individual dan juga kombinasinya dilihat dari kebutuhan air dan penggunaan *superplasticizer* dari bahan-bahan tersebut dengan variasi dan metode yang berbeda.

2. STUDI LITERATUR

2.1. Studi tentang *Rheology*

Rheology berasal dari bahasa Yunani yaitu *rheo* dan *logos* dimana *rheo* adalah mengalir dan *logos* adalah ilmu. Oleh karena itu *Rheology* dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari mengenai pergerakan material baik dari zat cair dan deformasi zat padat. *Rheology* biasanya ditentukan dengan melihat dua parameter yaitu *yield stress* dan viskositas. Dalam penelitian ini, keterbatasan alat yaitu *rheometer* menjadi kendala untuk mendapatkan dua parameter yaitu *yield stress* dan viskositas. Oleh karena itu, untuk menguji *rheology* digunakan dengan metode konvensional yaitu *flow test* dan *v-funnel test* yang nantinya digunakan sebagai indikator untuk menentukan sifat *rheology*.

Penelitian yang dilakukan oleh (Park et al., 2004) dengan judul *Rheological properties of cementitious materials containing mineral admixtures* menggunakan komposisi material yang berbeda-beda untuk dikombinasikan menjadi multi komponen. Dari *mix design* tersebut didapatkan bahwa pada sistem satu komponen yaitu campuran pasta semen yang ditambah dengan air dan *superplasticizer* menunjukkan penurunan *yield stress* dan *viscosity* seiring dengan bertambahnya dosis *superplasticizer*. Hal ini terjadi karena *superplasticizer* memiliki muatan negatif dan bila bercampur dengan air dan semen maka akan menghasilkan gaya tolak menolak (*dispersion*) sehingga *flowability* campuran tersebut meningkat.

Sedangkan, pada sistem dua komponen akan digunakan dua material yang berbeda seperti semen dan *fly ash* (PC-FA), semen dan *silica fume* (PC-SF). Hasil penelitian menunjukkan bahwa *yield stress* dan *viscosity* meningkat pada kombinasi PC-FA dan meningkat tajam pada kombinasi PC-SF. Jika dilihat dari parameter *rheology* antara kombinasi PC-FA dan PC-SF, keduanya memberikan hasil yang begitu berbeda. *Yield stress* dan viskositas kombinasi PC-SF meningkat tajam meskipun presentase penggantian PC dengan SF tidak begitu besar. Sedangkan, presentase penggantian PC dengan FA menunjukkan sedikit penurunan jika dibandingkan dengan PC saja.

Kemudian, pada sistem tiga komponen menunjukkan bahwa SF berfungsi sebagai material anti-segregasi. Hal ini diperoleh berdasarkan hasil pada sistem dua komponen dimana penggunaan SF mampu meningkatkan viskositas secara signifikan sehingga akan mencegah segregasi. Maka dari itu, kombinasi tiga komponen pada penelitian ini selalu menggunakan SF sebagai salah satu komposisinya.

2.2 Studi tentang *Particle Packing*

Konsep dari *particle packing* bisa meluas sampai ke dalam aplikasi *cementitious materials*, dimana bisa termasuk semen maupun bahan *cementitious material* lainnya seperti *pulverized fuel ash* (PFA), *ground granulated blast furnace slag* (BFS) dan *condensed silica fume* (CSF). Penggambaran secara analogi teori *particle packing* diyakini memiliki efek yang sama terhadap kebutuhan air dan *flowability* dari pasta semen. Pencampuran beberapa bahan *cementitious* dengan ukuran yang berbeda akan membuat material dengan ukuran yang sedang akan mengisi ruang yang ditinggalkan antara material berukuran besar dan yang berukuran kecil, begitu seterusnya. Material dengan ukuran kecil seringkali disebut *filler* karena akan mengisi ruang antara material yang lebih kecil. Oleh karena itu, dengan ruang yang telah terisi oleh gradasi ukuran material tersebut maka akan didapatkan peningkatan kepadatan suatu campuran yang nantinya bisa mengurangi penggunaan air dan dapat meningkatkan durabilitas serta sifat *rheology* campuran. (Long, Wang, & Xie, 2002)

Particle packing pada *cementitious materials* memberikan dampak yang signifikan terhadap kekuatan campuran beton. Pertama-tama hal ini disebabkan oleh pengurangan kebutuhan air. Dengan w/c ratio yang lebih rendah maka didapat campuran dengan kekuatan yang lebih tinggi. Yang kedua, dengan adanya *particle packing* yang baik akan mengurangi permeabilitas dari bahan-bahan *cementitious* dan

juga *bleeding* pada *cement paste*. Selain itu, *packing* yang baik juga dapat mengurangi porositas pada zona transisi karena rongga-rongga yang kosong terisi oleh partikel yang lebih halus. (Wong et al., 2002.)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Rancangan penelitian ini diawali dengan mempersiapkan bahan-bahan dan material yang akan digunakan. Kemudian, dilakukan pengujian material yang akan digunakan untuk mengetahui GS masing-masing. Selanjutnya, dilakukan perhitungan *mix design* untuk setiap material dengan beberapa macam Vw/Vp (perbandingan *volume* air dan *volume powder*). Setelah *mix design* selesai dilakukan, bahan-bahan yang diperlukan dalam suatu campuran ditimbang. Kemudian air dan *superplasticizer* dimasukkan ke dalam campuran lalu diaduk secara manual tanpa menggunakan alat bantu seperti bor maupun *vibrator*. Campuran pasta segar diaduk sesuai waktu yang ditentukan lalu dilakukan dua pengujian yaitu *Mortar Flow Table Test* dan *V-Funnel Test*. Sedangkan, campuran pasta keras diuji kuat tekannya pada umur 28 hari. Hasil yang diperoleh dicatat dan dianalisa sesuai dengan tujuan penelitian. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1**. Dimana t5 artinya campuran diuji 5 menit setelah air dan *superplasticizer* dimasukkan.

Tabel 1. Variabel dalam Penelitian

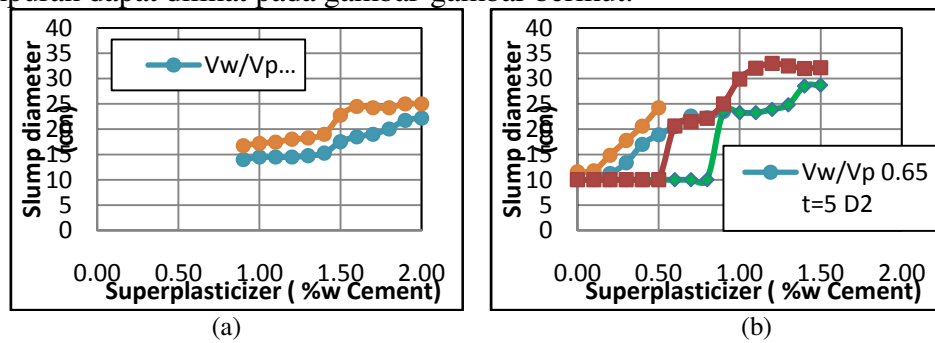
Material	Variabel		
	Vw/Vp	t slump	% SP
Semen (PC)	0,6	t5 dan t15	0-2
	0,65		
	0,7		
	0,8		
Fly Ash (FA)	0,4	tidak ada	0-2
	0,45		
	0,5		
	0,55		
	0,6		
Calcium Carbonate (CC)	0,6	tidak ada	0-2
	0,65		
	0,7		
	0,75		
Silica Fume (SF)	1,5	tidak ada	0-10
	1,7		
PC + FA (50:50)	0,493	t10 dan t20	0-2
	0,594		
PC + SF (95:5)	1,087	t5 dan t15	0-2
	1,117		
PC + SF (90:10)	1,087	t5 dan t15	0-2
	1,117		

4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

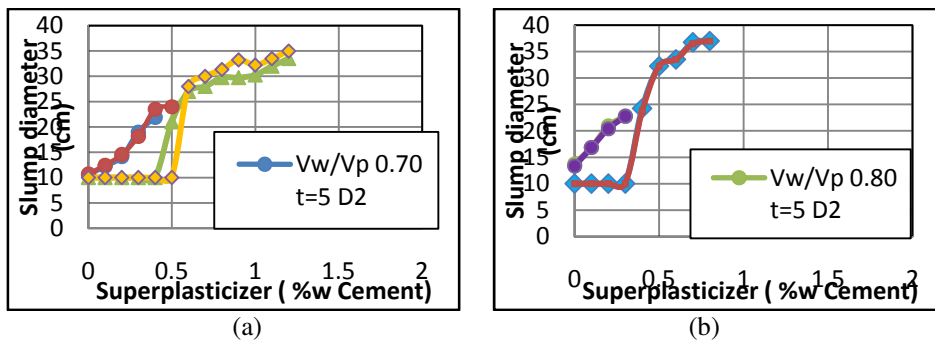
4.1. Pengujian dan Analisa *Mortar Flow Test*

Pengujian *Mortar Flow* ini bertujuan untuk melihat *deformability* campuran. (Okamura & Ouchi, 2003) Pengujian ini dilakukan terhadap semua material yang digunakan dalam penelitian ini. Dimana pertama-tama, diuji terhadap setiap material secara individu yang akan digunakan antara lain semen, *fly ash*, *calcium carbonate* dan *silica fume*. Kemudian,

bagaimana jika dua material yang ada digabungkan. Nantinya, setiap material akan diuji dengan beberapa variasi nilai V_w/V_p (perbandingan volume air terhadap volume powder) dan diamati juga bagaimana *flowability* pasta setiap penambahan dosis *superplasticizer*. Setiap material diuji dengan nilai V_w/V_p yang berbeda-beda karena kebutuhan air untuk tiap campuran tidaklah sama. *Flow diameter* campuran mungkin akan diperoleh dua nilai yaitu D1 dan D2. Dimana D1 adalah *flow diameter* campuran tanpa ketukan. Sedangkan D2 adalah *flow diameter* campuran dengan ketukan sebanyak 25 kali. Beberapa hasil *flow diameter* setiap campuran dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.

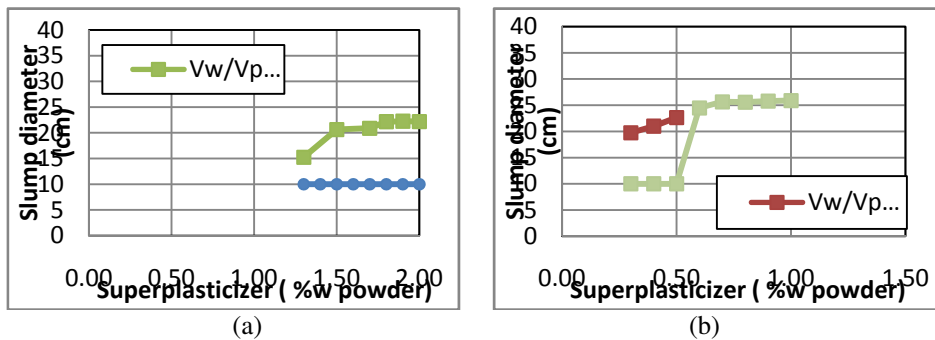


Gambar 1. Perubahan *Flow diameter* Campuran PC dengan V_w/V_p 0,6 (a) dan 0,65 (b)

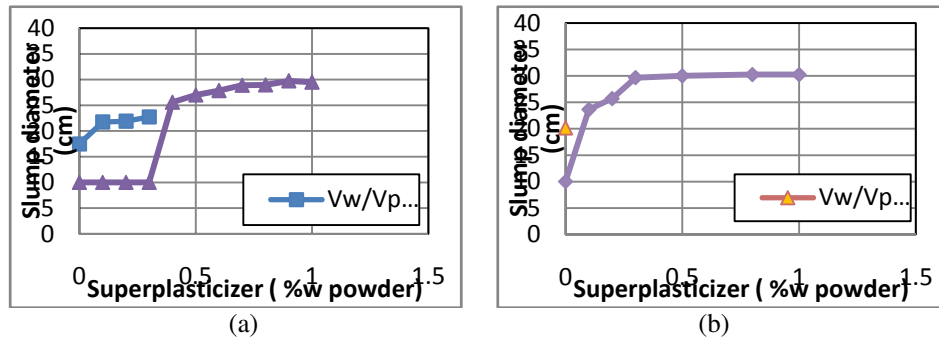


Gambar 2. Perubahan *Flow diameter* Campuran PC dengan V_w/V_p 0,7 (a) dan 0,8 (b)

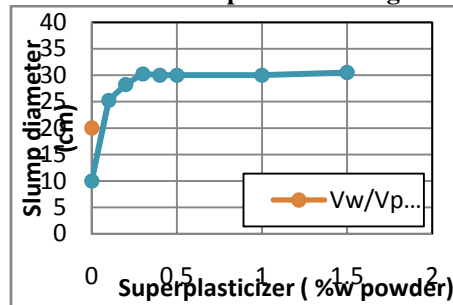
Dari **Gambar 1** dan **Gambar 2** ini menunjukkan bahwa setiap campuran PC membutuhkan air dan *superplasticizer* yang berbeda-beda. Dalam campuran ini, V_w/V_p 0,6 menunjukkan batas kebutuhan air minimum yang dibutuhkan PC untuk bisa mengalir. Setiap penambahan *superplasticizer* pada skala kecil sudah mampu meningkatkan *flow diameter* campuran. Selain itu, pengaruh waktu setelah air dan *superplasticizer* dimasukkan ternyata mampu meningkatkan *flowability* campuran.



Gambar 3. Perubahan *Flow diameter* Campuran FA dengan V_w/V_p 0,4 (a) dan 0,45(b)

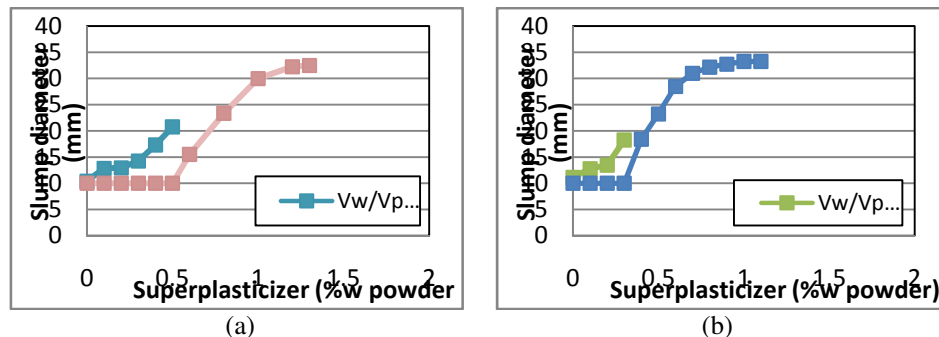


Gambar 4. Perubahan *Flow diameter* Campuran FA dengan Vw/Vp 0,5 (a) dan 0,55(b)

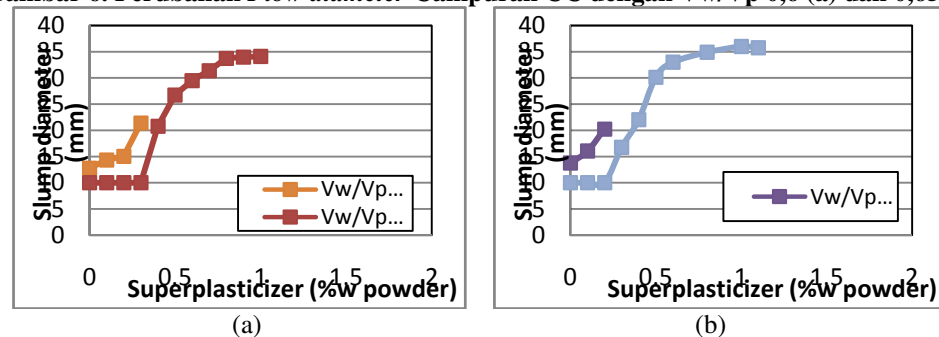


Gambar 5. Perubahan *Flow diameter* Campuran FA dengan Vw/Vp 0,6

Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5 diatas menunjukkan grafik peningkatan *flow diameter* campuran FA dengan nilai Vw/Vp yang berbeda-beda. Jika campuran FA dibandingkan dan campuran lain, dapat dilihat bahwa *water demand* FA adalah yang terkecil. Meskipun begitu, FA menunjukkan bahwa terjadi peningkatan *flow diameter* yang cukup besar pada awal-awal penggunaan *superplasticizer* tetapi menjadi konstan pada akhirnya.



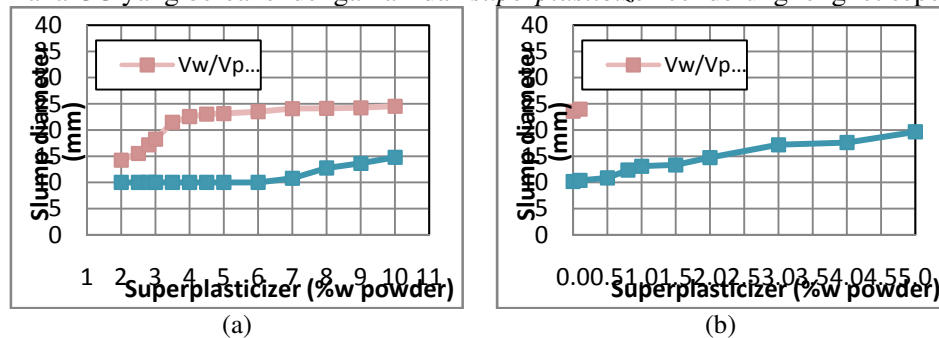
Gambar 6. Perubahan *Flow diameter* Campuran CC dengan Vw/Vp 0,6 (a) dan 0,65(b)



Gambar 7. Perubahan *Flow diameter* Campuran CC dengan Vw/Vp 0,7 (a) dan 0,75(b)

Perubahan *flow diameter* campuran CC ditunjukkan oleh Gambar 6 dan Gambar 7 diatas. Jika diperhatikan dan dibandingkan dengan hasil campuran PC sebelumnya, campuran CC membutuhkan air dengan jumlah yang sama dengan PC. Hal ini ditunjukkan dengan Vw/Vp terendah untuk bisa

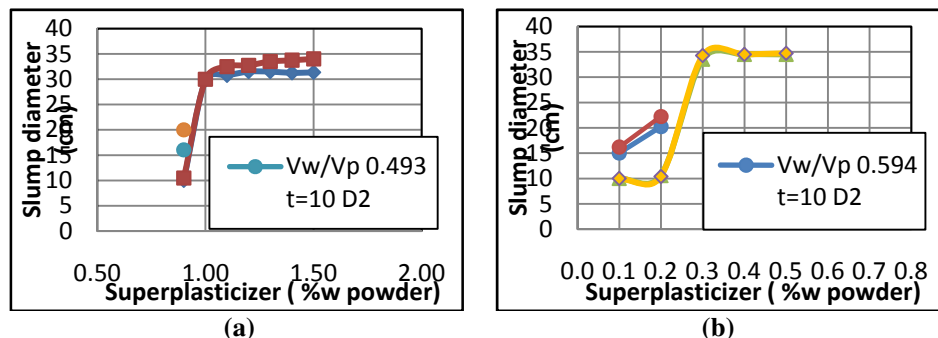
mengalir yaitu 0,6 ternyata sama dengan PC. Yang menjadi pembeda antara CC dan PC adalah sifatnya, dimana CC yang bereaksi dengan air dan *superplasticizer* cenderung lengket seperti lem.



Gambar 8. Perubahan Flow diameter Campuran SF dengan Vw/Vp 1,5 (a) dan 1,7 (b)

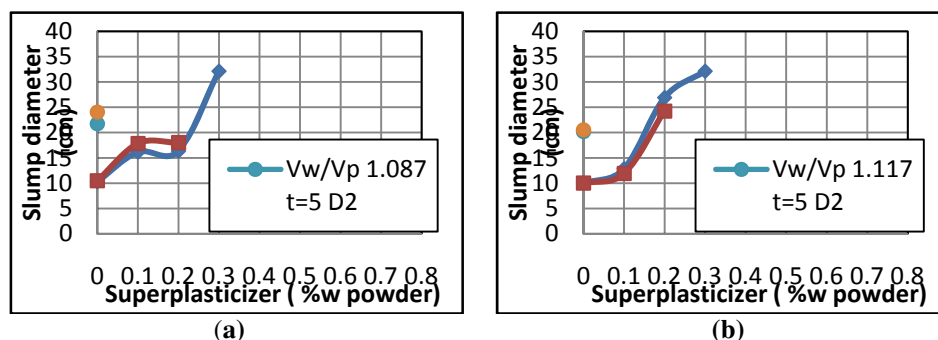
Gambar 8 menunjukkan bahwa campuran SF memiliki kebutuhan air yang sangat banyak dengan Vw/Vp 1,087. Tidak hanya kebutuhan airnya saja, kebutuhan *superplasticizer* untuk membuat campuran SF bisa mengalir mencapai lebih dari 5%. Bandingkan dengan campuran lain yang rata-rata membutuhkan *superplasticizer* kurang dari 2%.

Pada pengujian campuran kombinasi PC-FA dilakukan dengan perbandingan volume sebesar 1 : 1. Campuran PC-FA menunjukkan kecenderungan yang sama dengan FA secara individu. Dimana, penggunaan *superplasticizer* pada titik awal sangat berpengaruh dan membuat flow diameter meningkat tajam seperti ditunjukkan pada **Gambar 9** berikut.

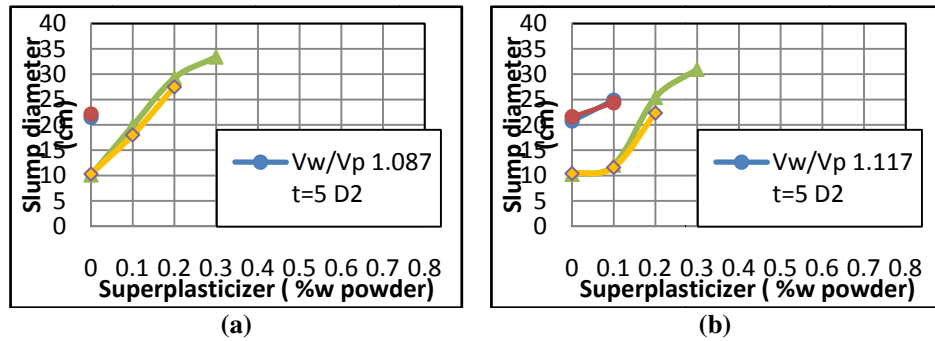


Gambar 9. Perubahan Flow diameter Campuran PC-FA dengan Vw/Vp 0,493 (a) dan 0,594 (b)

Sedangkan, untuk pengujian campuran PC-SF dilakukan dengan dua macam perbandingan volume yaitu 9:1 dan 19:1. (**Gambar 10** dan **Gambar 11**) Hal ini disebabkan karena penggantian PC dengan SF hanya efektif dalam range 5-10%. Lebih dari itu sudah tidak lagi memberikan pengaruh ditambah lagi harga material SF yang sangat mahal jika dibandingkan dengan PC.



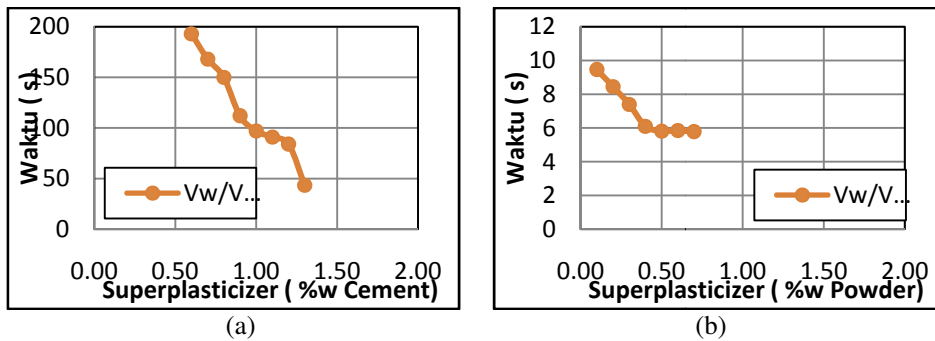
Gambar 10. Perubahan Flow diameter Campuran PC-SF (9:1) dengan Vw/Vp 1,087 (a) dan 1,117 (b)



Gambar 11. Perubahan *Flow diameter* Campuran PC-SF (19:1) dengan Vw/Vp 1,087 (a) dan 1,117 (b)

4.2. Pengujian dan Analisa *V-Funnel Test*

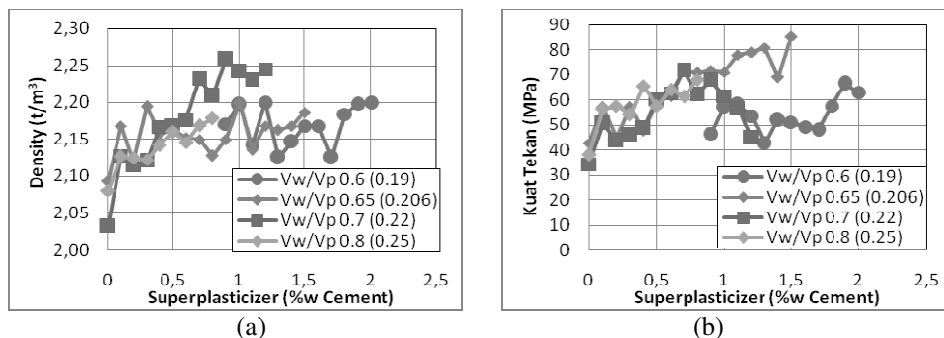
Pengujian *V-Funnel* ini bertujuan untuk melihat viskositas campuran.(Okamura & Ouchi, 2003) Pada penelitian ini, diamati viskositas pada dua campuran yaitu PC dan FA. Jika melihat **Gambar 12** berikut, peningkatan *superplasticizer* pada setiap campuran diikuti dengan berkurangnya waktu yang diperlukan campuran untuk bisa keluar dari *V-Funnel* sampai habis. Hal ini disebabkan karena, penambahan *superplasticizer* membuat campuran menjadi lecak dan mengurangi viskositasnya.



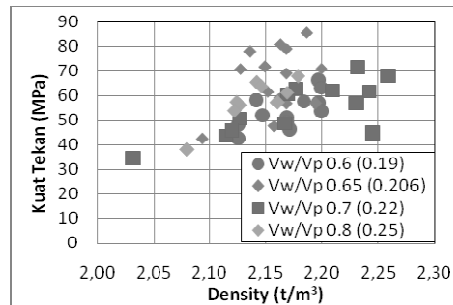
Gambar 12.Grafik Perubahan Waktu Campuran PC (a) dan FA (b) terhadap *Superplasticizer*

4.3. Analisa Hasil *Compression Test*

Pada penelitian ini juga dilakukan analisa terhadap pasta dalam keadaan keras dilihat dari kepadatan dan kuat tekannya. Pasta yang mengandung semen yang mampu mengeras sehingga dilakukan analisa terhadap campuran PC. **Gambar 13** menunjukkan bahwa peningkatan *superplasticizer* diikuti dengan peningkatan kepadatan campuran PC secara fluktuatif. Dari hasil ini, Vw/Vp 0,7 menunjukkan kepadatan yang paling baik. Namun, kuat tekan yang lebih baik ditunjukkan pada Vw/Vp 0,65 karena titik-titik Vw/Vp 0,65 berkumpul di satu area sedangkan yang lain menyebar di berbagai titik. Korelasi antara kepadatan dan kuat tekan dapat dilihat pada **Gambar 14**.



Gambar 13. Grafik Korelasi Kepadatan (a) dan Kuat Tekan (b) terhadap *Superplasticizer* Campuran PC



Gambar 14. Grafik Korelasi Kuat Tekan dan Kepadatan Campuran PC

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisa dan penelitian dapat ditarik kesimpulan mengenai rheologi pasta, sebagai berikut:

1. *Rheology* pasta dari setiap material menunjukkan banyak perbedaan, tetapi juga ada kesamaan dilihat dari data kebutuhan air, nilai *flow diameter*, viskositas, dan hasil *upper-lower* kebutuhan *superplasticizer*.
2. Semen dipengaruhi oleh variable waktu dalam reaksinya dengan air dan *superplasticizer*. Bertambahnya waktu menyebabkan semen lebih *flowable*. Bahan *cementitious* lain seperti *fly ash*, *calcium carbonate*, dan *silica fume*, tidak dipengaruhi oleh variabel waktu bila tidak dicampurkan dengan semen.
3. Semakin besar dosis *superplasticizer* yang digunakan maka waktu yang diperlukan campuran, baik pada semen dan *fly ash*, untuk keluar dari *V-Funnel* akan semakin kecil karena campuran akan semakin lecah.
4. Penambahan *superplasticizer* pada *calcium carbonate* menyebabkan air keluar pada bagian bawah campuran. Sementara itu, bila dibandingkan dengan semen dan *fly ash*, *superplasticizer* menyebabkan air muncul pada permukaan campuran.
5. Penambahan *fly ash* pada *rheology cement paste* sangat berpengaruh karena sifat dari *fly ash* lebih dominan bila dibandingkan dengan semen. *Rheology cement paste* pada campuran *fly ash* dan semen menunjukkan hasil *flow diameter* meningkat di awal seperti *rheology* individu dari *fly ash*. *Fly ash* juga mengurangi kebutuhan air dari campuran.
6. Penambahan *silica fume* pada *rheology cement paste* menyebabkan kebutuhan air pada campuran meningkat seperti sifat individu *silica fume* yang membutuhkan air sangat banyak tetapi berbanding terbalik dengan kebutuhan *superplasticizer* yang menjadi menurun drastis.
7. *Rheology calcium carbonate* kurang lebih sama dengan semen, baik dari kebutuhan airnya dan nilai *flow diameter*, tetapi pasta dari *calcium carbonate* bersifat lengket seperti lem yang tidak dijumpai pada sifat *rheology cement paste*. Penambahan *superplasticizer* juga menyebabkan air mengendap pada bagian bawah campuran.

6. DAFTAR REFERENSI

- Long, Guangcheng, Xinyou Wang, and Youjun Xie. (2002). "Very-High-Performance Concrete with Ultrafine Powders." *Cement and Concrete Research* 32: 601–5.
- Park, C K, M H Noh, and T H Park. (2004). "Rheological Properties of Cementitious Materials Containing Mineral Admixtures." *Cement and Concrete Research*: 8–15.
- Wong, Henry H C, Albert K H Kwan, and Hong Kong. (2002). *Packing Density: A Key Concept for Mix Design of High Performance Concrete*.
- Okamura, Hajime, and Masahiro Ouchi. (2003). "Self-Compacting Concrete." *Advanced Concrete Technology* 1(1): 5–15.