

ANALISIS PENGARUH VARIASI PENGGUNAAN BAHAN ADITIF TAMBAHAN SUPERPLASTICIZER TERHADAP PROPERTI PASTA KOMBINASI SEMEN-FLY ASH

Albert Kuncoro¹, Dewanti Ratna Paramitha², Lydia Yuniarti Meok³, Antoni Antoni⁴, dan Djwantoro Hardjito⁵
^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra
E-mail: albertk@petra.ac.id

ABSTRAK:

Dalam proses pembangunan, semen merupakan salah satu komponen yang berperan sangat besar, dan juga salah satu material yang mempunyai dampak lingkungan paling besar juga. Dalam upaya mengurangi penggunaan semen, dan disisi lain juga mengoptimalkan performa beton, muncul berbagai solusi untuk menggunakan material limbah pengganti/substitusi *binder*, maupun penggunaan *admixture*. Penggunaan *fly ash* dapat meningkatkan *workability* dan stabilitas daripada pasta. Disisi lain, partikel *fly ash* yang lebih kecil daripada semen dapat berkontribusi dalam meningkatkan kepadatan dari spesimen, yang berkontribusi pada meningkatnya nilai kuat tekan. Selain kontribusi akibat *binder*, rasio air semen (w/c) juga sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton. Semakin rendah w/c, maka semakin tinggi pula nilai kuat tekan spesimen, dimana pada sampel pasta dengan binder 100% semen, penurunan w/c sebesar 65.63% dapat meningkatkan kuat tekan hingga 143.77%. Dengan mengetahui sifat dan dosis yang tepat dalam menggunakan *superplasticizer*, performa dan properti beton dapat ditingkatkan, baik dalam keadaan segar maupun dalam keadaan sudah mengeras.

Kata Kunci: semen, *fly ash*, *superplasticizer*, pasta, kuat tekan

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya penggunaan beton dalam sektor konstruksi secara langsung berkontribusi dalam peningkatan penggunaan komponen seperti semen, agregat, dan air. Ketersediaan komponen – komponen tersebut tidak sebanding dengan keberlanjutannya, karena bahan baku yang digunakan tidak terbarukan. Semen, sebagai komponen utama beton memiliki harga yang mahal dan berperan sebagai bahan perekat yang mengikat semua komponen beton saat bereaksi dengan air [1]. Meskipun komposisi semen yang optimal dapat menghasilkan kekuatan beton yang tinggi, penggunaan berlebih dapat menyebabkan susut sehingga retak pada beton, dan juga dampak lingkungan yang negatif. Oleh karena itu, penelitian telah banyak dilakukan untuk mencari bahan alternatif sebagai pengganti atau penambah semen yang lebih ramah lingkungan.

Cementitious material merupakan bahan pengikat yang memberikan kekuatan pada beton, melalui reaksi kimia dan proses fisika. Sebagai usaha mengurangi penggunaan semen, berbagai jenis *cementitious material* digunakan sebagai pengikat pada beton untuk menggantikan sebagian semen maupun seluruhnya. Salah satu bahan pengikat yang efektif untuk menggantikan sebagian atau seluruh semen adalah *fly ash*. *Fly ash* memiliki partikel yang bulat, dan kehalusan yang mirip dengan semen. Penambahan *fly ash* dapat meningkatkan kelecakan dan juga mengurangi kebutuhan air [2].

Penggunaan *fly ash* yang ukuran partikel relatif lebih kecil daripada semen sebagai pengganti sebagian semen pada beton dapat mengurangi porositas beton [3]. Adanya rongga udara dalam beton yang berkontribusi terhadap porositas dapat mengurangi kepadatan dan menyebabkan penurunan kuat tekan. Salah satu solusi selain penggunaan *fly ash* dalam usaha mengurangi porositas dalam beton, adalah dengan menurunkan rasio air-semen [4], [5]. Penggunaan rasio air-semen yang rendah akan menurunkan kelecakan, namun hal tersebut dapat diatasi dengan penggunaan bahan tambahan campuran, yaitu *superplasticizer* (SP). *Superplasticizer* dapat meningkatkan kelecakan walaupun dengan rasio air-semen yang rendah [6], dengan menyelimuti permukaan partikel semen akibat reaksi dari asam *sulfonate*, sehingga menyebabkan partikel bermuatan negatif yang menyebabkan gaya saling tolak-menolak antar partikel semen terjadi [2].

Penggunaan *fly ash* dan *superplasticizer* dalam beton mempunyai pengaruh yang positif, namun dosis yang tepat sangat penting dan akan sangat berpengaruh terhadap performa beton. Jika dosis terlalu sedikit, efeknya tidak akan terlalu terlihat. Jika terlalu banyak, dapat merusak kualitas daripada beton [5]. Untuk lebih memahami pengaruh penggantian *fly ash* dan juga penambahan *superplasticizer* pada *fly ash blended cement*, penelitian dapat difokuskan pada sampel pasta. Tujuannya adalah untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi antara semen dan *fly ash*, serta dosis *superplasticizer* pada pasta dengan faktor air-semen yang rendah untuk mencapai kepadatan maksimum.

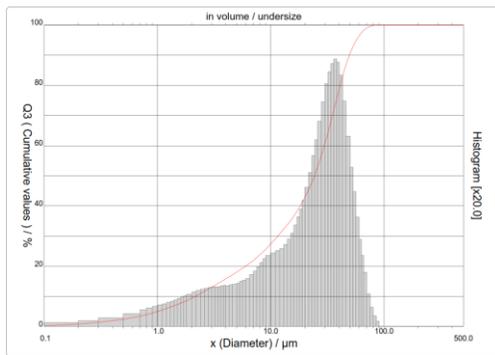
2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di laboratorium beton Universitas Kristen Petra, Surabaya. Penelitian melibatkan beberapa material sebagai bahan *cementitious*, dimana pengaruh penambahan bahan aditif berupa *superplasticizer* dan komposisi *cementitious material* diamati. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh kombinasi *fly ash* dan semen dengan rasio air-semen yang rendah terhadap kepadatan pasta dengan bantuan *superplasticizer*.

2.1. Material yang Digunakan

2.1.1. Semen

Pada penelitian ini, semen yang digunakan adalah semen dengan jenis *Portland Composite Cement* (PCC) yang diproduksi oleh PT Semen Indonesia Tbk. Beberapa jenis pengujian dilakukan guna mengetahui karakteristik daripada semen, seperti pengujian berat jenis yang didapatkan hasil bernilai sebesar 3.14, dan juga *Particle Size Analysis* (PSA) untuk mengetahui distribusi ukuran partikel seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dan Tabel 1.



Gambar 1. Particle Size Analysis (PSA) Semen

Tabel 1. Rangkuman PSA Semen

Material	d (10) (µm)	d (50) (µm)	d (90) (µm)	SSA (cm ² /g)
Semen	2.13	24.28	49.5	410.345

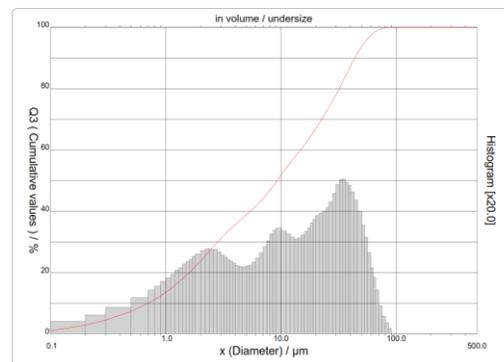
2.1.2. Fly Ash

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* tipe C yang didapatkan dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton, Probolinggo, Jawa Timur. Beberapa jenis pengujian dilakukan guna mengetahui karakteristik daripada *fly ash* yang digunakan, seperti pengujian berat jenis yang didapatkan hasil bernilai sebesar 2.656, pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui *bulk chemical composition* dilakukan sesuai ASTM D4326-11 dan

ASTM D7348-13 seperti ditunjukkan pada Tabel 2, dan juga *Particle Size Analysis* (PSA) untuk mengetahui distribusi ukuran partikel seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. X-Ray Fluorescence (XRF) Fly Ash

Senyawa	%w.t.
SiO ₂	32.45
Al ₂ O ₃	15.73
Fe ₂ O ₃	16.27
TiO ₂	0.70
CaO	19.70
MgO	7.97
K ₂ O	1.17
Na ₂ O	2.31
SO ₃	1.93
MnO ₂	0.21
P ₂ O ₅	0.27
LOI	0.8



Gambar 2. Particle Size Analysis (PSA) Fly Ash

Tabel 3. Rangkuman PSA Fly Ash

Material	d (10) (µm)	d (50) (µm)	d (90) (µm)	SSA (cm ² /g)
Semen	0.70	9.25	43.75	480.306

2.1.3. Superplasticizer (SP)

Pada penelitian ini, digunakan bahan kimia tambahan (*admixture*) yang diproduksi oleh PT Sika dengan merk dagang SIKAVISCOCRETE 1003.

2.2. Mix Design

Dalam upaya mencapai target yang diinginkan, langkah – langkah yang dilakukan adalah dengan melakukan perhitungan untuk menghasilkan campuran pasta yang terdiri dari beberapa perbandingan *binder*. Beberapa perbandingan *binder* yang dilakukan yaitu,

100% semen, 85% semen:15% *fly ash*, 70% semen:30% *fly ash*, dan 50% semen: 50% *fly ash*, dengan faktor air terhadap semen (w/c) tertentu.

Selanjutnya, dilakukan penambahan *superplasticizer* saat campuran mulai sulit dikerjakan, yang dapat dilihat dari hasil campuran yang tidak merata. *Superplasticizer* diberikan dengan dosis dalam rentang 0-2% dari jumlah semen dan *fly ash (binder)*. Untuk *mix design* dengan kombinasi – kombinasi 100% semen, 85% semen:15% *fly ash*, dan 70% semen:30% *fly ash*, penambahan *superplasticizer* dimulai ketika w/c mencapai nilai 0.2. Sedangkan untuk campuran 50% semen: 50% *fly ash*, penambahan *superplasticizer* dimulai ketika nilai w/c mencapai 0.18.

Desain dari proporsi campuran pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 4. Setelah itu, dilakukan perawatan (*curing*) saat beton telah mencapai umur 1 hari, dan berlanjut hingga waktu pengujian yang dilakukan, yaitu sampel umur 7 dan 28 hari.

Tabel 4. *Mix Design*

Semen (%)	<i>Fly Ash</i> (%)	w/c	SP (%)
100	0	0.4-minimum	0-2
85	15	0.4-minimum	0-2
70	30	0.4-minimum	0-2
50	50	0.4-minimum	0-2

2.3. Langkah Pencetakan dan Pengujian

2.3.1. Langkah – Langkah Pembuatan Pasta

Pada sub-bab ini dijelaskan secara rinci beberapa langkah – langkah yang dilakukan dalam proses pembuatan spesimen pasta. Pertama, dilakukan proses penimbangan sesuai dengan desain campuran yang telah ditentukan. Kemudian binder (semen dan *fly ash*) diaduk secara kering sampai tercampur merata, yang selanjutnya air ditambahkan sesuai dengan w/c yang telah ditentukan. Selanjutnya pasta segar diaduk hingga terlihat homogen selama beberapa menit.

Sebelum *superplasticizer* ditambahkan ke dalam campuran, *superplasticizer* perlu ditimbang dahulu dalam suatu wadah. Kemudian, *superplasticizer* ditambahkan secara perlahan kedalam adukan pasta segar, sambil terus menerus diaduk secara konstan, hingga adonan dapat mendapatkan konsistensi yang diinginkan. Jumlah kebutuhan *superplasticizer* dihitung dengan mengurangi berat awal terhadap berat akhir setelah dimasukkan kedalam campuran pasta segar.

Kemudian, pasta segar diukur kekecakkannya menggunakan alat *flow table* sebelum dicetak kedalam

bekisting. Kemudian pasta segar dicetak dan dipadatkan kedalam bekisting, juga digetarkan dengan meja penggetar. Proses pembukaan cetakan dilakukan setelah 24 jam sejak proses pencampuran, dimana setelah itu dilakukan proses perawatan dengan cara merendam pasta kedalam kolam yang berisikan air. Proses perawatan berlanjut hingga waktu pengujian yang dilakukan, yaitu sampel umur 7 dan 28 hari.

2.3.2. Pengujian Sampel Pasta

Beberapa pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah: *flow table test*, kepadatan (*density*), kuat tekan, dan juga perubahan volume. Pengujian tersebut dilakukan untuk tiap variasi campuran, dengan rata rata sampel yang diuji per variasi adalah 3 benda uji. Seluruh proses penelitian dan pengujian dilakukan di Laboratorium Beton Universitas Kristen Petra.

Pengujian kuat tekan dilakukan pada spesimen berbentuk kubik dengan ukuran 50-mm tiap sisinya. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 dan 28 hari, dan sesuai dengan prosedur yang dijelaskan pada ASTM C109. Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan, sample ditimbang dan diukur volumenya, yang kemudian data tersebut dapat diolah untuk mendapatkan nilai kepadatan spesimen.

Pengujian *flow table* dilakukan sebelum pasta segar dipadatkan dan dicetak kedalam bekisting. Tujuan dari pengujian *flow table* adalah untuk mengukur daya air atau *flowability* dari pasta yang dibuat, yang berkaitan dengan kelecakan dari pasta. Pengujian *flow table* dilakukan dengan menuangkan pasta yang baru diaduk kedalam sebuah cetakan yang ditempatkan diatas piringan mesin *flow table*. Setelah itu, cetakan diangkat, dan alat *flow table* dinyalakan sehingga beroperasi sebanyak 25 kali dalam waktu 15 detik. Kemudian, diameter aliran (*flow diameter*) diukur untuk mendapatkan informasi mengenai hasil pengujian *flow table*. Pengujian *flow table* dilakukan dengan alat seperti yang dijelaskan pada ASTM C230 dan pengujian dilakukan seperti yang diterangkan pada ASTM C1437.

Pengujian perubahan berat volume dilakukan dengan cara mencampurkan *binder* dan air sesuai dengan proporsi campuran yang disyaratkan didalam plastik yang kedap. Setelah mengeras selama 24 jam, sampel dikeluarkan dari plastik lalu ditimbang berat dan volumenya. Perubahan volume pasta dapat diketahui dengan menghitung selisih antara volume dan berat teoritis dengan volume dan berat sebenarnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Optimasi w/c dan Penggunaan SP untuk Berbagai Variasi Binder

Dalam penelitian ini dilakukan identifikasi pengaruh dari penggunaan SP terhadap kelecakan jika kelecakan dipaksa serendah mungkin pada semen campuran (*blended cement/binder*). Berdasarkan perbandingan *massa* semen dan *fly ash* terbagi, campuran terdiri dari 4 variasi, yaitu 100% semen, 85% semen:15% *fly ash*, 70% semen:30% *fly ash*, dan 50% semen: 50% *fly ash*, dengan faktor air terhadap semen (*w/c*) tertentu. *Superplasticizer* (SP) ditambahkan sedikit demi sedikit hingga pasta dapat dikerjakan dengan penambahan maksimum sebesar 2% dari total *binder*. Data hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7, dan Tabel 8.

Tabel 5. *Mix Design* Optimasi Pasta 100% Semen

Semen (gram)	Air (gram)	w/c	SP (%)
2000	800	0.4	0
2000	700	0.35	0
2000	600	0.3	0
2000	500	0.25	0
2000	400	0.2	0.22
2000	360	0.18	0.36
2000	320	0.16	0.65
2000	280	0.14	1.36
2000	275	0.137	2

Tabel 6. *Mix Design* Optimasi Pasta 85% Semen +15% *Fly Ash*

Semen (gram)	Fly Ash (gram)	Air (gram)	w/c	SP (%)
1700	300	800	0.4	0
1700	300	700	0.35	0
1700	300	600	0.3	0
1700	300	500	0.25	0
1700	300	400	0.2	0.15
1700	300	360	0.18	0.21
1700	300	320	0.16	0.35
1700	300	280	0.14	0.69
1700	300	250	0.125	1.8

Tabel 7. *Mix Design* Optimasi Pasta 70% Semen +30% *Fly Ash*

Semen (gram)	Fly Ash (gram)	Air (gram)	w/c	SP (%)
1400	600	800	0.4	0
1400	600	700	0.35	0
1400	600	600	0.3	0
1400	600	500	0.25	0
1400	600	400	0.2	0.04

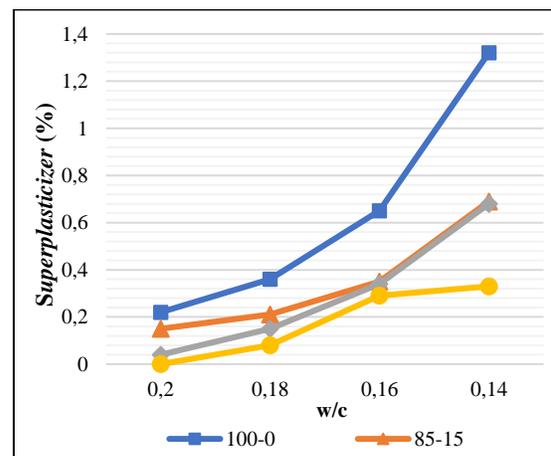
1400	600	360	0.18	0.15
1400	600	320	0.16	0.34
1400	600	280	0.14	0.68
1400	600	240	0.12	1.57
1400	600	220	0.11	1.96

Tabel 8. *Mix Design* Optimasi Pasta 50% Semen +50% *Fly Ash*

Semen (gram)	Fly Ash (gram)	Air (gram)	w/c	SP (%)
1000	1000	800	0.4	0
1000	1000	700	0.35	0
1000	1000	600	0.3	0
1000	1000	500	0.25	0
1000	1000	400	0.2	0
1000	1000	360	0.18	0.08
1000	1000	320	0.16	0.29
1000	1000	280	0.14	0.33
1000	1000	240	0.12	1.12
1000	1000	210	0.105	1.89

3.2. Analisa *Flow Table Test* dan Kebutuhan SP

Analisa hubungan antara kebutuhan penggunaan *superplasticizer*(SP) dengan *flow* didapatkan dengan secara bertahap menurunkan *w/c* daripada pasta segar agar bernilai serendah mungkin, dengan memanfaatkan SP dengan kadar maksimum sebesar 2% agar pasta segar mencapai *flow* tertentu, sehingga sifat dari *binder* yang dipengaruhi oleh SP dapat dianalisa. Nilai – nilai *w/c* yang digunakan sebagai acuan analisis adalah sebesar 0.2, 0.18, 0.16, dan 0.14. Hasil analisa hubungan antara kebutuhan SP, *w/c*, dan juga tipe kombinasi *binder* dapat dilihat seperti pada Gambar 3.



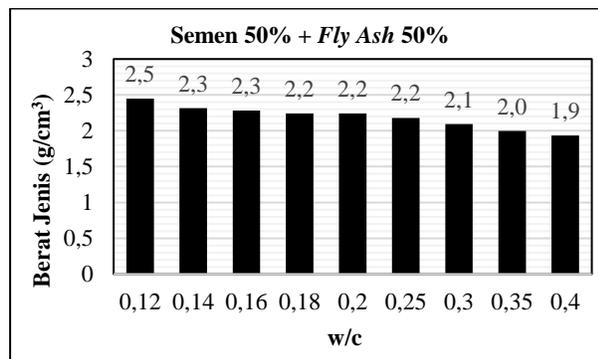
Gambar 3. Hubungan antara kadar SP terhadap *w/c* pada beberapa tipe kombinasi *binder*

Dapat dilihat pada Gambar 3, bahwa semakin rendah w/c suatu campuran, maka kebutuhan SP untuk melecakkan/meningkatkan *flow* pasta segar juga meningkat. Hal tersebut disebabkan oleh menurunnya *flow* dan *workability* daripada pasta segar dengan w/c rendah, sehingga membutuhkan bahan kimia tambahan (*admixture*: SP) untuk dapat melecakkan pasta[7]. Disisi lain, penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen juga memberikan dampak positif bagi *flow* dan *workability*, seperti yang ditunjukkan pada hasil menunjukkan penurunan kebutuhan SP seiring meningkatnya kadar *fly ash*. Hal tersebut disebabkan oleh fenomena yang dinamakan *ball-bearing effect*, dimana partikel *fly ash* yang berbentuk bola (*spherical*) membuat bidang kontak antar partikel menjadi kecil, sehingga meningkatkan *flow* dan *workability* dari pasta segar [7], [8].

3.3. Analisa Kepadatan

Kepadatan merupakan hasil perbandingan antara berat terhadap volume. Pada proses Analisa kepadatan, pengukuran berat dan volume dilakukan satu hari sebelum pengujian kuat tekan sampel pasta dilakukan. Pasta yang telah melalui proses *curing*, kemudian dibersihkan permukaannya dalam keadaan SSD, dan diukur berat serta volumenya.

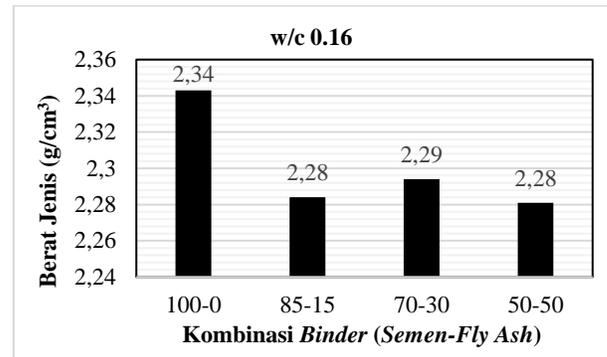
Hubungan antara berat jenis terhadap w/c sampel pasta kombinasi 50% semen + 50% *fly ash* pada umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 4. Semakin rendah w/c daripada suatu campuran, akan mengurangi terbentuknya rongga udara akibat hilangnya molekul air pada sampel. Hal tersebut berkontribusi terhadap kepadatan sampel, dimana semakin kecil w/c, berarti semakin kecil pula air yang dilibatkan dalam proses hidrasi, sehingga partikel *binder* dapat lebih banyak berkontribusi dan menunjang kepadatan yang lebih baik.



Gambar 4. Hubungan Berat Jenis terhadap w/c untuk Sampel Pasta Kombinasi 50% Semen + 50% *Fly Ash*

Gambar 5 menunjukkan adanya hubungan berat jenis terhadap *binder* yang digunakan. Untuk

sampel pasta dengan w/c 0.16 pada umur 28 hari, dapat terlihat bahwa terlibatnya *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen berdampak terhadap kepadatan daripada sampel. Berat jenis daripada *fly ash* yang lebih kecil berkontribusi terhadap kepadatan sampel secara keseluruhan, sehingga semakin tinggi *fly ash* digunakan sebagai pengganti *binder*, maka semakin rendah pula berat jenis pasta yang didapatkan.

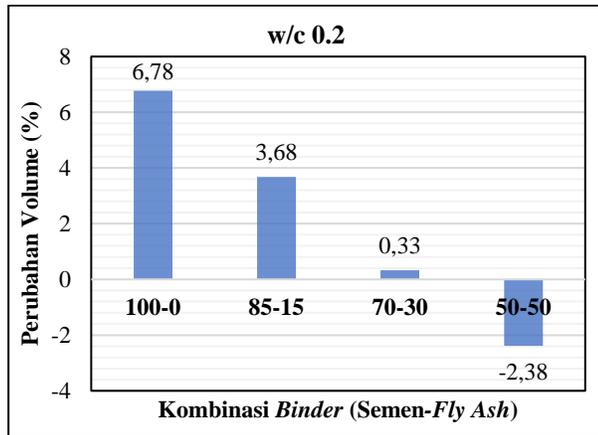


Gambar 5. Hubungan Berat Jenis terhadap Kombinasi Binder untuk Sampel Pasta w/c 0.16

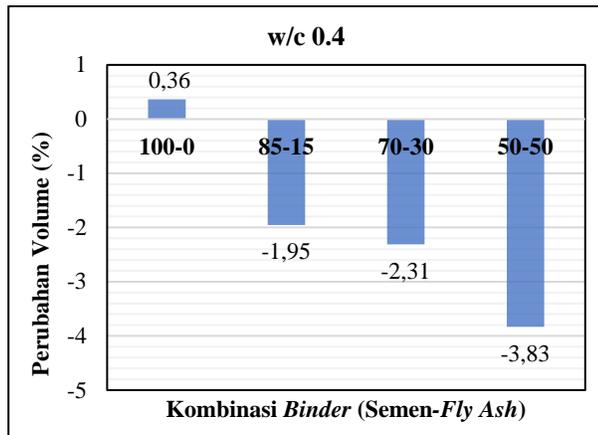
3.4. Analisa Perubahan Volume

Dalam pengujian berat volume, *binder* dan air dicampurkan dalam proporsi yang ditentukan ke dalam plastik yang kedap. Setelah mengeras selama 24 jam, sampel diambil dari plastik dan ditimbang berat dan volumenya. Perubahan volume pasta dapat dihitung dengan membandingkan selisih antara volume dan berat teoritis dengan volume dan berat sebenarnya.

Hasil dari perhitungan perubahan volume teoritis dan volume sebenarnya disajikan pada Gambar 6 dan Gambar 7 untuk w/c sebesar 0.2 dan 0.4 secara berurutan. Untuk mendapatkan perubahan volume, dengan cara mengurangi volume teoritis dari volume sebenarnya, kemudian membandingkannya dalam bentuk persentase terhadap volume sebenarnya. Dari hasil yang didapatkan, dapat dilihat bahwa baik keberadaan *fly ash* dalam menggantikan semen dan juga w/c daripada sampel sangat berpengaruh terhadap konsistensi volume sampel. Semakin tinggi kadar *fly ash* didalam pasta, maka akan menimbulkan susut volume dalam jangka pendek. Semakin tinggi w/c daripada sampel, maka susut volume juga semakin besar, yang dapat dikaitkan dengan semakin tingginya kadar air didalam pasta.



Gambar 6. Hubungan antara Perubahan Volume terhadap Kombinasi Binder untuk Sampel Pasta w/c 0.2



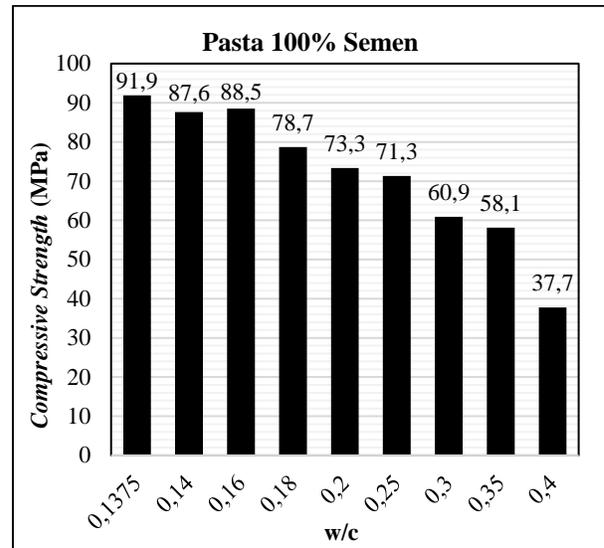
Gambar 7. Hubungan antara Perubahan Volume terhadap Kombinasi Binder untuk Sampel Pasta w/c 0.4

3.5. Analisa Uji Kuat Tekan

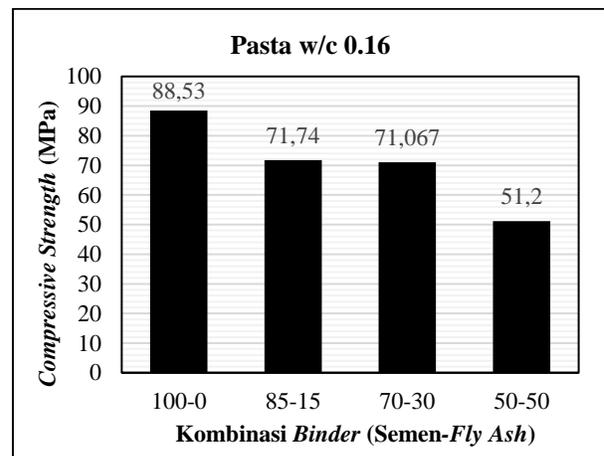
Analisa hubungan antara hasil uji kuat tekan terhadap w/c pada umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 8. Seiring meningkatnya kadar air yang erat keterkaitannya dengan w/c, maka dapat mengurangi kepadatan dan juga kuat tekan daripada pasta [9]. Penurunan w/c sebesar 65.63% dapat meningkatkan kuat tekan hingga 143.77%.

Penggunaan fly ash sebagai pengganti sebagian semen disisi lain berdampak buruk pada kuat tekan sampel umur 28 hari. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 9, dimana substitusi 50% dari berat semen menggunakan fly ash, mengurangi nilai kuat tekan sebesar 42.17%. Walaupun penambahan fly ash dapat berdampak baik dalam stabilitas dan kelecakan pasta, namun penurunan kuat tekan yang signifikan perlu diperhitungkan. Hal tersebut dapat terjadi karena kurang

sempurnanya reaksi pozzolan yang terjadi, dimana reaksi pozzolan umumnya mempunyai dampak yang cukup signifikan setelah umur 7 hari, dan berkembang seiring berjalannya waktu, bahkan sampai bertahun tahun, mengakibatkan perkembangan kuat tekan yang belum optimal dibandingkan pada semen pada umur 28 hari [10].



Gambar 8. Hubungan Nilai Kuat Tekan terhadap w/c untuk Sampel Pasta 100% semen



Gambar 9. Hubungan Nilai Kuat Tekan terhadap Kombinasi Binder untuk Sampel Pasta w/c 0.16

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Semakin rendah w/c daripada campuran, maka semakin tinggi juga kebutuhan *superplasticizer* yang harus ditambahkan. Nilai minimum w/c yang dapat digunakan berkaitan erat dengan konsistensi normal dari *binder*.
- Semakin rendah w/c, maka akan semakin padat sampel pasta, yang ditunjukkan dengan nilai berat jenis yang meningkat seiring berkurangnya nilai w/c
- Semakin banyak *fly ash* yang digunakan dalam campuran, semakin sedikit pula *superplasticizer* yang dibutuhkan. Hal ini berkaitan erat dengan bentuk partikel *fly ash* yang seperti bola (*spherical*) yang menimbulkan *ball-bearing effect*.
- Semakin tinggi kandungan *fly ash* didalam pasta, maka semakin rendah pula stabilitas volume pasta setelah reaksi.
- Semakin rendah w/c, maka akan semakin tinggi kepadatannya, yang berdampak pada meningkatnya nilai kuat tekan pasta. Dimana pada sampel dengan *binder* 100% semen pada umur 28 hari, penurunan w/c sebesar 65.63% dapat meningkatkan kuat tekan hingga 143.77%.
- Semakin tinggi kandungan *fly ash*, maka nilai kuat tekan umur 28 hari juga semakin menurun. Hal tersebut diakibatkan karena lambatnya proses reaksi pozzolan yang terjadi akibat keberadaan *fly ash*, sehingga belum mencapai derajat hidrasi yang baik pada umur 28 hari, yang berdampak pada nilai kuat tekan sampel pasta.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Kuncoro and H. S. Djayaprabha, "The Effect of Sodium Hydroxide Molarity on the Compressive and Splitting Tensile Strength of Ferronickel Slag-Based Alkali Activated Mortar," 2021. doi: <https://doi.org/10.14710/mkts.v27i2.32706>.
- [2] A. M. Neville and J. J. Brooks, *Concrete Technology*. London: Trans-Atlantic Publications, 1987.
- [3] S. Pangdaeng, T. Phoo-ngernkham, V. Sata, and P. Chindaprasirt, "Influence of curing conditions on properties of high calcium fly ash geopolymer containing Portland cement as additive," *Mater Des*, vol. 53, pp. 269–274, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.matdes.2013.07.018.
- [4] J. Schulze, "Influence of water-cement ratio and cement content on the properties of polymer-modified mortars," *Cem Concr Res*, vol. 29, no. 6, pp. 909–915, Jun. 1999, doi: 10.1016/S0008-8846(99)00060-5.
- [5] V. Živica, "Effects of the very low water/cement ratio," *Constr Build Mater*, vol. 23, no. 12, pp. 3579–3582, Dec. 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.03.014.
- [6] B. Felekoğlu, S. Türkel, and B. Baradan, "Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete," *Build Environ*, vol. 42, no. 4, pp. 1795–1802, Apr. 2007, doi: 10.1016/j.buildenv.2006.01.012.
- [7] Antoni, J. G. Halim, O. C. Kusuma, and D. Hardjito, "Optimizing Polycarboxylate Based Superplasticizer Dosage with Different Cement Type," *Procedia Eng*, vol. 171, pp. 752–759, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.01.442.
- [8] H. Awang, M. H. Ahmad, and M. Z. Al-Mulali, "Influence of kenaf and polypropylene fibres on mechanical and durability properties of fibre reinforced lightweight foamed concrete," *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 10, pp. 496–508, Apr. 2015.
- [9] S. P. Angdiarto, C. N. Thomas, A. Antoni, and D. Hardjito, "PENGARUH VARIASI WATER/FLY ASH RATIO DAN METODE PENCAMPURAN KALSIUM PADA PASTA 100% FLY ASH TIPE C," *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, vol. 7, no. 2, 2018.
- [10] A. Kuncoro and T.-P. Chang, "Influences of FGD Gypsum and CCR on Engineering Properties of Class F Fly Ash and GGBFS Based Alkali-Activated Material," 2021.