

PENGARUH PENAMBAHAN *VISCOSITY MODIFYING ADMIXTURE* TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR DAN BETON RENDAH SEMEN

Andreas¹, Edwin Christian², Antoni³, Djwantoro Hardjito⁴

ABSTRAK : Pembuatan mortar dan beton rendah semen dapat dilakukan dengan metode *particle packing*. Penggunaan pasta semen yang minim menjadi salah satu tujuan dari metode ini. Jumlah penggunaan agregat dibuat semaksimal mungkin agar dapat menghasilkan beton dan mortar dengan nilai *void ratio* yang kecil. Secara teoritis, volume pasta (V_p) akan mengisi seluruh volume *void* (V_v) ($V_p/V_v=100\%$). Semakin besar *w/c* yang dipakai, maka kebutuhan semen yang dipakai akan semakin rendah. Akan tetapi penggunaan nilai *w/c* yang besar dan dosis *superplasticizer* yang berlebih adalah risiko *bleeding* dan segregasi. Untuk mengurangi risiko ini, dilakukan penambahan *viscosity modifying admixture* (VMA). VMA berfungsi untuk memperbaiki sifat reologi dari beton. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalkan penggunaan semen dan mempelajari dampak VMA pada kuat tekan dari mortar rendah semen dan beton rendah semen.

Dari hasil penelitian ini, didapatkan mortar dengan perbandingan berat semen dan pasir sebesar 1:4.35 pada *w/c* 0.7 dan 1:2.85 pada *w/c* 0.35. Dengan penambahan VMA, kuat tekan mortar dengan *w/c* 0.7 yang semula sebesar 26.73 MPa meningkat hingga 33.58 MPa pada umur 28 hari. Sedangkan kuat tekan mortar dengan *w/c* 0.35 yang semula sebesar 73.73 MPa meningkat hingga 81.33 MPa. Pada beton, didapatkan jumlah kebutuhan semen sebesar 306 kg/m³ pada nilai *w/c* sebesar 0.5 dan menghasilkan kuat tekan yang semula 18.68 MPa meningkat hingga 22.93 MPa.

KATA KUNCI: *viscosity modifying admixture, rheology, particle packing, void ratio, water/cement ratio, superplasticizer.*

1. PENDAHULUAN

Selain dari segi biaya yang tinggi, penggunaan semen yang banyak di dalam beton dapat memperbesar resiko retak yang diakibatkan oleh penyusutan (*shrinkage*) (Wassermann, Katz, & Bentur, 2009). Maka dari itu diperlukan inovasi dalam pembuatan beton agar kebutuhan semen dapat diminimalisir. Salah satu metode yang dapat menghemat biaya adalah metode *particle packing*. Menurut Hardi & Tendean (2017) metode *particle packing* dapat menciptakan rongga dalam beton (*void*) sekecil mungkin dan mengisinya dengan pasta semen hingga volume pasta sama dengan volume *void* ($V_p/V_v = 100\%$). Dengan kata lain, agregat digunakan semaksimal mungkin untuk mendapatkan kepadatan tertinggi dan penggunaan pasta semen dapat dikurangi. Menurut EFNARC & EFCA (2006), salah satu kegunaan dari *Viscosity Modifying Admixture* (VMA) adalah mengubah sifat reologi beton segar menjadi lebih kohesif dan homogen. Dengan demikian, terjadinya *bleeding* dan segregasi dapat dihindari. Hal ini merupakan hal yang penting untuk diperhatikan karena sifat dari beton segar sangat berdampak pada kualitas beton keras nantinya.

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, andreas-tan95@hotmail.com

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, christian.edwin15@gmail.com

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

⁴Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, djwantoro.h@petra.ac.id

Pada penelitian sebelumnya telah dihasilkan beton rendah semen dengan jumlah kebutuhan semen 309 kg/m³ menggunakan metode *particle packing*. Jumlah kebutuhan semen yang dihasilkan telah memenuhi standar beton rendah semen yaitu <310 kg/m³ (ACI *Committee* 302, 1997). Akan tetapi kuat tekan yang dihasilkan masih tergolong rendah (<20 MPa). Hal ini dikarenakan beton segar yang dihasilkan tidak *workable* dan mengalami *bleeding* dan segregasi. Penelitian kali ini akan dilakukan analisa pengaruh penambahan VMA pada mortar dan beton rendah semen tanpa penambahan *supplementary cementitious material*. Peneliti bermaksud untuk menganalisa penggunaan VMA terhadap sifat reologi dari mortar dan beton rendah semen dan kuat tekan yang dihasilkan untuk mencapai *normal strength performance*.

2. RANCANGAN PENELITIAN

2.1 Material

Material yang digunakan adalah pasir Lumajang dalam kondisi SSD, Semen PPC, agregat kasar berupa batu pecah ukuran 10 - 20 mm, *Superplasticizer* (SP) dengan produk Sika® *Viscocrete*® - 1003 (**Tabel 1**), dan *Viscosity Modifying Admixtures* (VMA) dengan produk Sika® *Stabilizer* 4R (**Tabel 2**).

Tabel 1. Spesifikasi Sika® Viscocrete® - 1003

Type	Aqueous solution of modified polycarboxylate copolymer
Appearance	Brownish
Specific Gravity	1.065 ± 0.01 kg/ltr
Dosage	0.6 – 1.6 % by weight of binder (for flowing and SCC)

Tabel 2. Spesifikasi Sika® Stabilizer 4R

Appearance	Blue Liquid
Specific Gravity	Approx. 1.02
Dosage	65-455/100kg of cementitious materials

2.2 Metode Penelitian

Pertama dilakukan terlebih dahulu analisa *void ratio* untuk campuran mortar dan beton dengan berbagai variasi komposisi agregat. Campuran mortar menggunakan pasir Lumajang ukuran 1.18 mm – 5 mm (pasir kasar) dan ukuran <1.18 mm (pasir halus). Campuran beton menggunakan agregat kasar ukuran 10-20 mm dan pasir Lumajang ukuran <10 mm. *Void ratio* terendah akan dipergunakan untuk perhitungan analisa kebutuhan semen seperti yang tampak pada **Tabel 3**. Pada campuran mortar digunakan *w/c* 0.35 dan 0.70 untuk menguji pengaruh VMA pada campuran yang mengandung dosis SP berlebihan dan campuran yang mengandung kadar air berlebihan. Pada campuran beton diberikan *w/c* yang dapat menghasilkan jumlah kebutuhan semen sesuai standar dari ACI *Committee* 302. Penggunaan SP diberikan pada campuran beton untuk menambah kelecakan campuran dan pada mortar dengan *w/c* 0.35. Penambahan VMA diberikan kepada campuran secara *trial and error* hingga campuran tidak terlihat *bleeding* dan segregasi.

Beberapa pengujian dilakukan pada penelitian ini. Uji *Flow Table* dilakukan pada mortar segar untuk mengukur *flowability* dan *plastic viscosity* dan memantau *bleeding* dan segregasi yang terjadi. Uji beda volume gravimetrik dilakukan untuk mengetahui besarnya *air content* yang terjadi pada campuran mortar akibat pengaruh penambahan VMA. Uji kuat tekan dilakukan pada mortar (umur 7 hari dan 28 hari) dan beton (28 hari) untuk mengetahui kapasitas kuat tekan dalam satuan MPa.

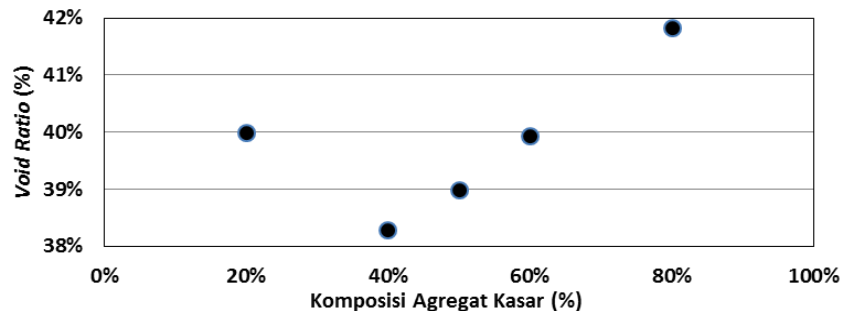
Tabel 3. Perhitungan Jumlah Kebutuhan Semen Berdasarkan Analisa Void Ratio

Specific Gravity Semen	3.15
γ Air	1
Void Ratio (%)	X
Volume Rongga (liter)	X x 1000
Water/Cement Ratio	Y
Jumlah Kebutuhan Semen (kg/m ³)	(Volume Rongga x GS Semen) / (1 + 3.15 x Y)
Jumlah Kebutuhan Air (kg/m ³)	Jumlah Kebutuhan Semen x Y

3. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Analisa Void Ratio Mortar Rendah Semen

Analisa *void ratio* pada mortar dilakukan untuk mencari kepadatan tertinggi dengan jumlah pasta yang minimum (rendah semen). Pada **Gambar 1** merupakan *void ratio* yang dihasilkan oleh berbagai variasi komposisi pasir untuk campuran mortar. Variasi komposisi pasir yang dilakukan yaitu: 20% pasir kasar dengan 80% pasir halus, 40% pasir kasar dengan 60% pasir halus, 50% pasir kasar dengan 50% pasir halus, 60% pasir kasar dengan 40% pasir halus, dan 80% pasir kasar dengan 20% pasir halus. Pada komposisi 40% pasir kasar dan 60% pasir halus diperoleh nilai *void ratio* terendah yaitu 38.27 %. Dengan demikian, pada *mix design* mortar perbandingan volume pasta dan pasir yang diperoleh sama dengan perbandingan antara volume rongga (*void*) dan volume padatan (*solid*).



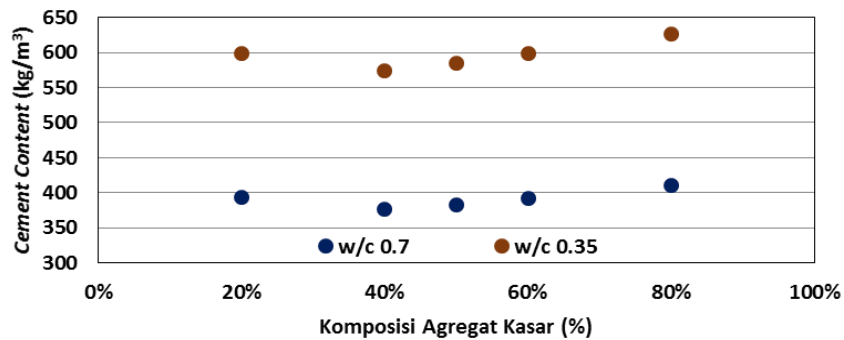
Gambar 1. Analisa Void Ratio Mortar dengan Beberapa Variasi Komposisi Pasir Kasar dan Pasir Halus.

3.2. Hasil Analisa Kebutuhan Semen Mortar Rendah Semen

Dalam penelitian ini diusahakan agar volume pasta sama dengan volume *void* ($V_p/V_v = 100\%$). Maka dari itu, dengan mengubah nilai *water/cement ratio* (w/c) akan berdampak pada jumlah kebutuhan semen. Pada **Gambar 2** dapat dilihat besarnya jumlah kebutuhan semen dengan perbedaan w/c dan perbedaan kombinasi pasir untuk mendapatkan V_p/V_v sebesar 100%. Pada w/c 0.35 didapatkan kebutuhan semen terendah sebesar 573.42 kg/m³ sedangkan pada w/c 0.7 kebutuhan semen terendah adalah sebesar 376.17 kg/m³. Dengan demikian dapat diperoleh perbandingan berat antara semen dan pasir dalam masing-masing campuran seperti yang tertulis dalam **Tabel 4**.

Tabel 4. Perbandingan Berat antara Semen dan Pasir pada w/c 0.35 dan 0.70

water-cement ratio (w/c)	Semen (gr)	Pasir (gr)	V_p/V_v
0.35	1	2.85	100%
0.70	1	4.35	100%



Gambar 2. Analisa Kebutuhan Semen Terhadap Perbedaan Nilai w/c dan Perbedaan Komposisi Pasir Lumajang ($V_p/V_v = 100\%$).

3.3. Hasil Analisa Mix Design Mortar Rendah Semen

Pada **Tabel 5** dapat dilihat *mix design* w/c 0.35; SP 1% memiliki nilai w/c sebesar 0.35 dan dilakukan SP sebesar 1% pada setiap persentase VMA yang berbeda. Hal ini dilakukan untuk menguji pengaruh penggunaan VMA pada campuran yang stabilitas reologinya terganggu akibat dosis SP berlebihan. Pada **Tabel 6**, *mix design* w/c 0.70; SP 0% memiliki nilai w/c yang cukup tinggi yaitu sebesar 0.70. Hal ini dilakukan untuk menguji pengaruh penggunaan VMA pada campuran yang stabilitas reologinya terganggu akibat penggunaan air berlebihan. Pengaplikasian VMA dalam campuran mortar dilakukan dengan cara *trial and error*. Mix A0 dan B0 berlaku sebagai kontrol (pengaplikasian VMA tidak dilakukan dalam campuran ini). Penambahan dosis VMA dihentikan ketika campuran sudah tidak mengalami indikasi *bleeding* dan segregasi.

Tabel 5. *Mix Design* Mortar Rendah Semen Tipe A (w/c 0.35; SP 0.1%)

Sampel	Semen (gr)	Pasir (gr)	w/c	Air (gr)	SP		VMA (%)	
					(%)	gr	(%)	gr
A0	526.32	1500	0.35	184.21	1	5.26	0.000	0.000
A1							0.225	1.180
A2							0.250	1.320
A3							0.275	1.450
A4							0.300	1.580
A5							0.320	1.680
A6							0.335	1.760
A7							0.350	1.840

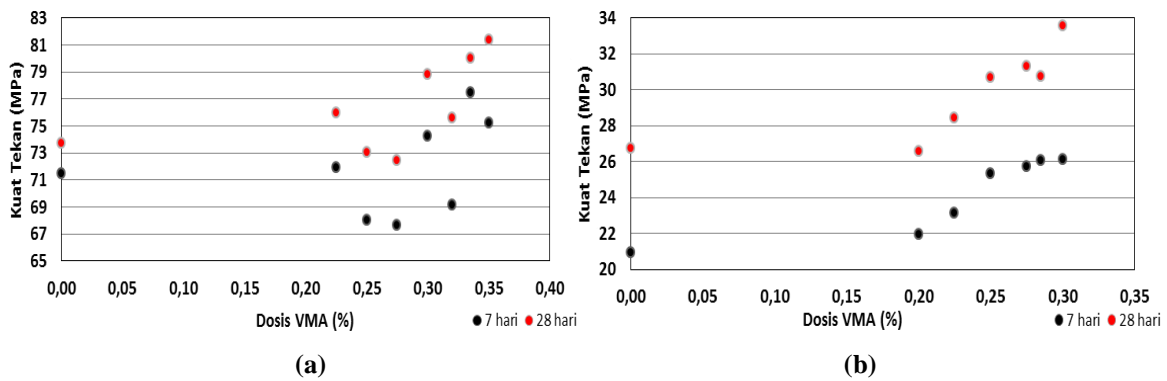
Tabel 6. *Mix Design* Mortar Rendah Semen Tipe B (w/c 0.70; SP 0%)

Sampel	Semen (gr)	Pasir (gr)	w/c	Air (gr)	SP		VMA (%)	
					(%)	gr	(%)	gr
B0	345	1500	0.70	241.5	0	0	0.000	0.000
B1							0.200	0.690
B2							0.225	0.780
B3							0.250	0.860
B4							0.275	0.950
B5							0.285	0.980
B6							0.300	1.040

3.4. Hasil Analisa Kuat Tekan Mortar Rendah Semen

Gambar 3a dan **Gambar 3b** menjelaskan hubungan kuat tekan terhadap penambahan dosis VMA pada mortar w/c 0.35; SP 0.1% dan mortar w/c 0.70; SP 0%. Penambahan VMA terlihat jelas berdampak pada

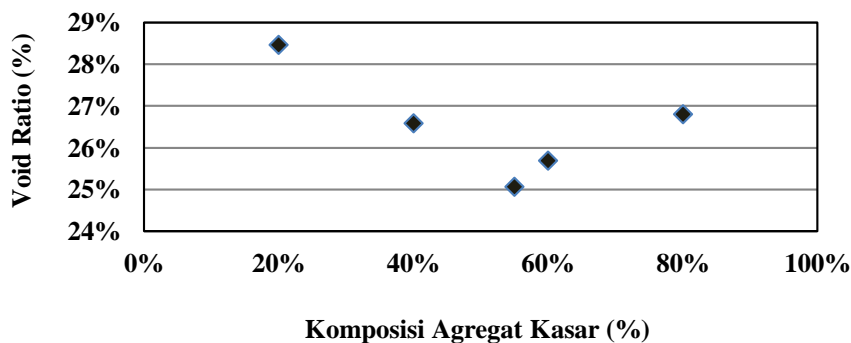
hasil kuat tekan mortar. Pada dosis yang optimal, penambahan VMA dapat memberikan kuat tekan yang maksimal. Namun pada mortar w/c 0.35; SP 0.1% hasil kuat tekan terlihat tidak konsisten jika dibandingkan dengan mortar w/c 0.70; SP 0%. Selain itu, hasil analisa kuat tekan 7 hari dan 28 hari pada w/c 0.35; SP 1% terlihat kurang signifikan. Hal ini dapat diakibatkan oleh penggunaan SP yang melebihi batas normal. Dosis SP melebihi proporsi normal memang sangat tidak dianjurkan karena dapat memperlambat *setting time* yang berdampak pada kuat tekan (Paramitha & Meok, 2017). Kuat tekan maksimal pada umur 7 hari adalah 77.44 Mpa dengan dosis VMA 0.355% sedangkan kuat tekan pada umur 28 hari adalah 81.33 Mpa dengan dosis VMA 0.35%. Hasil kuat tekan pada mortar w/c 0.70; SP 0% memiliki nilai yang konsisten seiring dengan penambahan dosis VMA kedalam campuran mortar. Penambahan VMA pada campuran secara jelas menambah kuat tekan mortar. Kuat tekan maksimal yang dihasilkan adalah 26.51 MPa (7 hari) dan 33.51 MPa (28 hari) dengan dosis VMA sebesar 0.30%.



Gambar 3. Hasil Uji Kuat Tekan Mortar (a) w/c 0.35; SP 0.1%; (b) w/c 0.70; SP 0%

3.5. Hasil Analisa *Void Ratio* pada Beton Rendah Semen

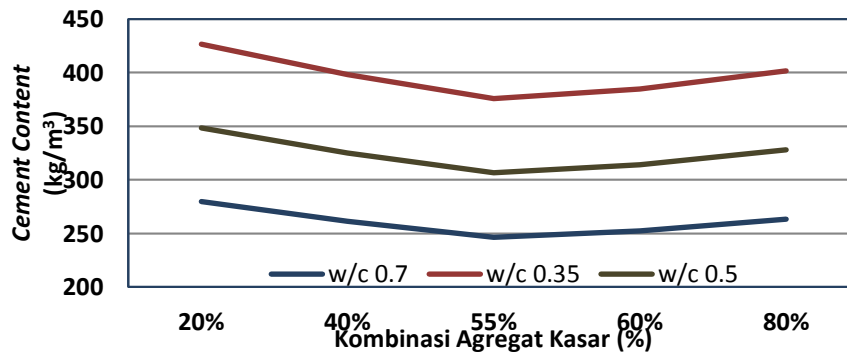
Analisa *void ratio* dilakukan untuk mengetahui seberapa besarnya rongga kosong yang dihasilkan dari kombinasi antara agregat kasar dan agregat halus. Rongga kosong inilah yang nantinya akan diisi oleh pasta. Gambar 4 menunjukkan bahwa kondisi terpadat dapat dicapai pada saat kombinasi agregat dengan persentase massa agregat kasar 55% ukuran 10 mm-20 mm dan massa agregat halus 45% ukuran 0 mm-10 mm dengan nilai *void ratio* sebesar 25.1%. Hasil ini selaras dengan penelitian sebelumnya, dimana kondisi terpadat dapat tercapai pada kombinasi dengan persentase massa agregat kasar 55% ukuran 12.5 mm-25 mm dan massa agregat halus 45% ukuran 0 mm-4 mm dengan nilai *void ratio* sebesar 23.514% (Hardi & Tandean, 2017). Untuk mendapatkan kepadatan yang lebih tinggi peneliti menyarankan untuk menggunakan 0.45 *Power Gradation Chart* dalam mencari komposisi antara agregat-agregat yang digunakan.



Gambar 4. Kombinasi *Split* 10 mm – 20 mm dan Pasir Lumajang

3.6. Hasil Analisa Kebutuhan Semen terhadap Kombinasi Agregat Kasar dan Water Cement Ratio secara Teoritis pada Beton Rendah Semen

Dengan metode *particle packing* yang digunakan, dilakukan analisa kebutuhan jumlah semen terhadap kombinasi agregat kasar dan *water cement ratio*. Selain itu, kebutuhan jumlah semen juga dipengaruhi oleh nilai *water cement ratio* dalam *mix design*. Semakin tingginya nilai *water cement ratio* didalam beton, maka kebutuhan jumlah semen pun akan berkurang. Hal ini disebabkan oleh sebagian kecil volume pasta akan diisi oleh air. Pada **Gambar 5** dapat dilihat bahwa besarnya kebutuhan semen dengan nilai *Water Cement Ratio* sebesar 0.5 dan 0.7 cukup rendah jika dibandingkan dengan persyaratan dosis semen minimum menurut ACI Committee 302 (1997), yaitu 310 kg/m³ untuk ukuran agregat maksimum 25mm.



Gambar 5. Kebutuhan Semen terhadap Kombinasi Agregat Kasar dan Water Cement Ratio

3.7. Hasil Analisa Kuat Tekan Beton Rendah Semen

Variabel yang berperan dalam *mix design* ini adalah rasio antara volume pasta dengan volume rongga di antara agregat (V_p/V_v), penggunaan SP dan VMA. Akan tetapi, pada saat pengecoran didapati bahwa dengan menggunakan nilai *w/c* sebesar 0.5 dengan nilai V_p/V_v sebesar 100%, beton segar tersebut masih terlihat kering dan tidak dapat dikerjakan. Oleh sebab itu peneliti menambahkan pasta hingga V_p/V_v sebesar 101% dengan jumlah semen hingga sebesar 309 kg/m³ **Tabel 7**. Jumlah ini merupakan batas maksimum dari beton rendah semen menurut ACI Committee 302 (1997) yaitu <310 kg/m³. Akan tetapi, beton segar yang terbentuk tetap tidak *workable* sehingga peneliti menambahkan SP sebesar 0.6% dari berat semen. Kemudian peneliti mendapati bahwa campuran beton segar yang terbentuk terjadi *bleeding* dan segregasi sehingga peneliti mencoba menambahkan VMA untuk mengurangi *bleeding* dan segregasi pada beton sebesar 0.28% hingga 0.4% dari berat semen.

Dari hasil percobaan tersebut, penambahan dosis VMA dapat mengurangi *bleeding* dan segregasi pada beton. Beton segar yang dihasilkan nampak tercampur dengan baik dan merata, walaupun *slump* yang dihasilkan masih rendah, sehingga tidak *workable*. Hasil ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Hardi & Tandean (2017), yaitu dengan penggunaan *cement content* <310 kg/m³, nilai *slump* yang didapatkan adalah 0 (**Gambar 6**) sehingga peneliti menyarankan untuk meningkatkan nilai V_p/V_v secara bertahap, penggunaan material pengikat yang lebih halus seperti *silica fume* dan *fly ash* atau penambahan material pengisi (*filler*) seperti pasir silika dan abu limbah marmer untuk mendapatkan hasil *slump* yang lebih tinggi agar lebih mudah untuk dikerjakan (*workable*).

Pengujian kuat tekan pada beton dilakukan saat beton berumur 28 hari sesuai dengan standar (ASTM C-39, 2005). Sampel benda uji setiap *mix design* adalah 2 benda uji berupa silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pada saat beton berumur 28 hari, dilakukan *capping* terlebih dahulu dengan menggunakan belerang sebelum pengetesan kuat tekan dilakukan agar permukaan beton rata dan mendapatkan hasil yang lebih akurat.

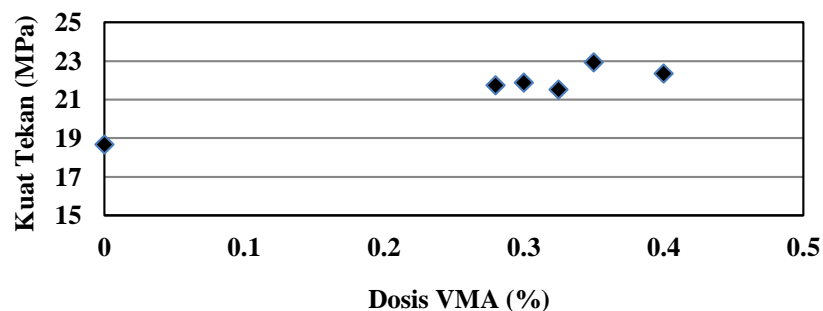
Penambahan dosis VMA yang dipakai berpengaruh terhadap hasil kuat tekan dari beton (**Gambar 7**). Pada saat kondisi optimum, penambahan hasil kuat tekan dari beton tidak terlalu signifikan. Hal ini juga terjadi karena penggunaan dosis *superplasticizer* yang cukup tinggi, yaitu sebesar 0.6% dari berat semen yang digunakan. Hasil kuat tekan beton tanpa VMA sebesar 18.68 MPa sedangkan hasil kuat tekan tertinggi dicapai pada saat dosis VMA sebesar 0.35% dari berat semen, yaitu sebesar 22.93 MPa.. Oleh karena itu, peneliti menyarankan untuk meningkatkan nilai V_p/V_v dan menggunakan agregat kasar dengan nilai *specific gravity* yang lebih tinggi untuk meningkatkan nilai kuat tekan pada beton.

Tabel 7. Hasil Mix Design Beton Setelah Penambahan SP & V_p/V_v

Sampel	Semen (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	w/c	SP (%)	VMA (%)	Agg. Halus (kg/m ³)	Agg. Kasar (kg/m ³)	V_p/V_v (%)
C0	309	155	0.5	0.6	0	905	1010	101
C1					0.28			
C2					0.3			
C3					0.325			
C4					0.35			
C5					0.4			



Gambar 6. Hasil Pengukuran Slump Beton dengan w/c 0.5, SP 0.6%; VMA 0.35%; dan V_p/V_v 101 %



Gambar 7. Hubungan antara Dosis VMA dengan Kuat Tekan Beton

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan, sebagai berikut:

1. Mortar rendah semen dihasilkan dengan perbandingan berat semen dan pasir 1 : 2.85 (w/c 0.35) dan 1 : 4.35 (w/c 0.70) menggunakan metode *particle packing*. Pada umumnya, perbandingan berat antara semen dan pasir di dalam mortar adalah 1 : 2.
2. Beton yang dihasilkan telah mendekati standar beton rendah semen menurut ACI *Committee* 302

(1997) yaitu $<310 \text{ kg/m}^3$. Jumlah kebutuhan semen teoritis adalah sebesar 306 kg/m^3 dengan w/c 0.5. Pada saat pengecoran, kebutuhan semen meningkat menjadi 309 kg/m^3 ($V_p/V_v = 101\%$) dengan penggunaan dosis SP 0.6%.

3. Penambahan dosis VMA kedalam campuran mortar dan beton rendah semen berdampak pada hasil kuat tekan. Pada mortar rendah semen, dosis yang dianjurkan berkisar dari 0.3% - 0.35%. Pada beton rendah semen dengan w/c 0.5, dosis yang dianjurkan berkisar dari 0.28% - 0.35%.
4. Penambahan dosis VMA kedalam campuran mortar dapat mengatasi jumlah pasta yang sedikit sehingga tidak perlu dilakukan penambahan V_p/V_v .
5. Penggunaan *superplasticizer* diluar batas normal sangat tidak disarankan karena dapat memperlambat *setting time* yang mempengaruhi kapasitas kuat tekan.
6. Penambahan VMA dalam campuran beton rendah semen belum bisa memperbaiki nilai *slump* yang dihasilkan (0 cm).

Saran

1. Untuk mendapatkan kepadatan yang lebih tinggi, disarankan melakukan perhitungan analisa *void ratio* menggunakan 0.45 *Power Gradation Chart*.
2. Untuk mendapatkan kuat tekan yang lebih tinggi, disarankan untuk menggunakan agregat dengan nilai *specific gravity* (GS) yang lebih besar (mendekati 2.7) dan melakukan penambahan V_p/V_v .
3. Untuk menghasilkan beton rendah semen dengan *workability* yang baik disarankan untuk :
 - Melakukan analisa penambahan V_p/V_v secara bertahap.
 - Menggunakan material pengisi (*filler*) yang lebih halus seperti *waste marble dust*, pasir silika, *bottom ash* dan lain lain.
 - Menambahkan material pengikat pengganti semen seperti *fly ash* dan *silica fume* (langkah tercepat).

5. DAFTAR REFERENSI

- ACI Committee 302. (1997). Guide for Concrete Floor and Slab Construction. In *American Concrete Institute* (22p).
- ASTM. (2005). ASTM C39/C39M – 05 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. *ASTM International*, 1–8. <https://doi.org/10.1520/C0039>
- EFNARC, & EFCA. (2006). Guidelines for Viscosity Modifying Admixtures for Concrete. *Guidelines for Viscosity Modifying Admixtures for Concrete*.
- Hardi, E., & Tandean, R. D. (2017). *Beton Rendah Semen dengan Konsep Kepadatan Partikel*. (SIP). Unpublished Undergraduate Thesis, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Paramitha, D. R., & Meok, L. Y. (2017). *Pengaruh Kombinasi Semen Fly Ash dan Variasi Water Content dengan Penambahan Superplasticizer terhadap Kepadatan Pasta*. (SIP). Unpublished Undergraduate Thesis, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- SIKA. (2017). *Sika® Stabilizer 4R Stabilizer for Concrete and Mortar*, 4–6.
- SIKA. (2006). *Sika® ViscoCrete® 1250NT*. In *Sika® ViscoCrete® 1250NT* (pp. 1–2).
- Wassermann, R., Katz, A., & Bentur, A. (2009). *Minimum Cement Content Requirements: a Must or a Myth? Materials and Structures*, (42), 973. <https://doi.org/10.1617/s11527-008-9436-0>