

PENGEMBANGAN BETON RENDAH SEMEN DENGAN MENGGUNAKAN KALSIMUM KARBONAT DAN *VISCOSITY MODIFYING ADMIXTURE*

Thefila Tiza Prasetyo¹, Claudia Dwi Yosianti², Antoni³

ABSTRAK : Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk mengurangi penggunaan semen yaitu beton rendah semen. Prinsip dasar beton rendah semen yaitu menggantikan sebagian semen dengan *cementitious material*. *Cementitious material* yang dapat digunakan selain *fly ash* adalah kalsium karbonat. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan beton rendah semen menggunakan kalsium karbonat dan pengaplikasian *Viscosity Modifying Admixture* (VMA) dengan konsep *particle packing*.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan kalsium karbonat pada *w/cm* 0.25, 0.3, 0.35, dan 0.4 dengan dosis $\leq 20\%$ yang digunakan untuk menggantikan sebagian semen dapat menghasilkan kuat tekan > 30 MPa. Dosis VMA yang dapat menghasilkan campuran mortar yang homogen dengan SP 1% pada *w/cm* 0.3 adalah 0.45% dari berat semen, sedangkan pada *w/cm* 0.35 didapatkan sebesar 1% dari berat semen. Hasil penelitian pada beton dengan penggunaan kalsium karbonat 20% pada *w/cm* 0.5 dapat menghasilkan kebutuhan semen sebesar 279.64 kg/m³. Dosis VMA yang dapat menghasilkan campuran beton yang homogen pada *w/cm* 0.3 adalah 0.85% dari berat semen, pada *w/cm* 0.4 didapatkan sebesar 0.95% dari berat semen, sedangkan pada *w/cm* 0.35 didapatkan sebesar 1% dari berat semen.

KATA KUNCI: beton rendah semen, *cementitious material*, kalsium karbonat, *Viscosity Modifying Admixture*, *particle packing*.

1. PENDAHULUAN

Menurut ACI Committee 302 (2004), beton dikatakan rendah semen jika beton tersebut memiliki kandungan semen < 310 kg/m³. Prinsip dasar dari beton rendah semen adalah untuk menemukan kadar semen terendah dalam beton dengan menggunakan *cementitious material* (Lothenbach *et al.*, 2011).

Metode beton rendah semen memanfaatkan konsep kepadatan partikel (*particle packing*). Kepadatan yang maksimal harus mempertimbangkan gradasi agregat kasar dan agregat halus agar meningkatkan kinerja campuran beton. Penggunaan agregat dengan ukuran yang sama membutuhkan pasta yang lebih banyak dibandingkan dengan menggunakan agregat yang ukurannya bervariasi. Dalam pengisian rongga antar partikel agregat maka dibutuhkan volume pasta semen yang lebih besar daripada volume rongga udara dalam agregat (Kwan & Wong, 2005).

Viscosity Modifying Admixtures (VMA) merupakan bagian dari *admixture* yang dirancang untuk mengurangi segregasi dan *bleeding* pada beton. Penambahan VMA dapat digunakan untuk mengganti atau membatasi penambahan pasir, sehingga membuat beton segar lebih kohesif. (EFNARC & EFCA, 2006). Menurut Umar & Al-Tamimi (2011), VMA dikombinasikan dengan penggunaan *superplasticizer* (SP) dimana *superplasticizer* meningkatkan *flow* sedangkan VMA menjaga stabilitas. Semakin besar penambahan dosis VMA, maka udara yang terjebak di dalam campuran menjadi lebih besar, karena penambahan VMA dapat menambah nilai kekentalan campuran (Andreas & Christian, 2018).

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, m21415114@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, m21415184@john.petra.ac.id

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

Metode pengembangan beton rendah semen yang dapat dilakukan adalah menggantikan sebagian semen dengan *cementitious material*. *Cementitious material* yang dapat digunakan selain *fly ash* adalah kalsium karbonat (CaCO_3). Kalsium karbonat memiliki bentuk butiran yang halus seperti semen.

Penggunaan kalsium karbonat sebagai *filler* sebagai material pengisi dapat memberikan keuntungan dalam hal kekuatan, kepadatan, *setting time*, dan biaya yang lebih murah. (Shaikh & Supit, 2014). Dengan kenaikan kadar CaCO_3 , *flowability* menurun dan *setting time* diperpendek (Liu *et al.*, 2011).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan beton rendah semen dengan memanfaatkan konsep *particle packing*. Peneliti bermaksud meminimalkan penggunaan semen dengan *w/cm* yang rendah menggunakan kalsium karbonat sebagai *cementitious material*. Dalam melakukan penelitian ini digunakan *superplasticizer* untuk mengurangi penggunaan air dan meningkatkan *workability*. Selain itu, untuk mengurangi *bleeding* dan segregasi pada penggunaan *superplasticizer* yang berlebih, maka digunakan penambahan VMA untuk menghasilkan campuran yang homogen.

2. DETAIL PENELITIAN

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen PPC, kalsium karbonat *mesh* 2000 yang diproduksi oleh PT. Omya Indonesia, pasir Lumajang dengan ukuran 1.18 mm - 5 mm (pasir kasar) dan < 1.18 mm (pasir halus), agregat kasar ukuran 10 mm – 20 mm, agregat halus ukuran < 10 mm, serta *superplasticizer* (SP) dan *Viscosity Modifying Admixtures* (VMA) yang diproduksi oleh PT. SIKKA Indonesia. Spesifikasi ukuran dari material kalsium karbonat dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Spesifikasi Ukuran Kalsium Karbonat Mesh 2000 Hasil Tes PSA

Material	d(10)	d(50)	d(90)	SSA
	(μm)	(μm)	(μm)	(cm^2/g)
Kalsium Karbonat Mesh 2000	0.73	12.25	100.08	8596.3

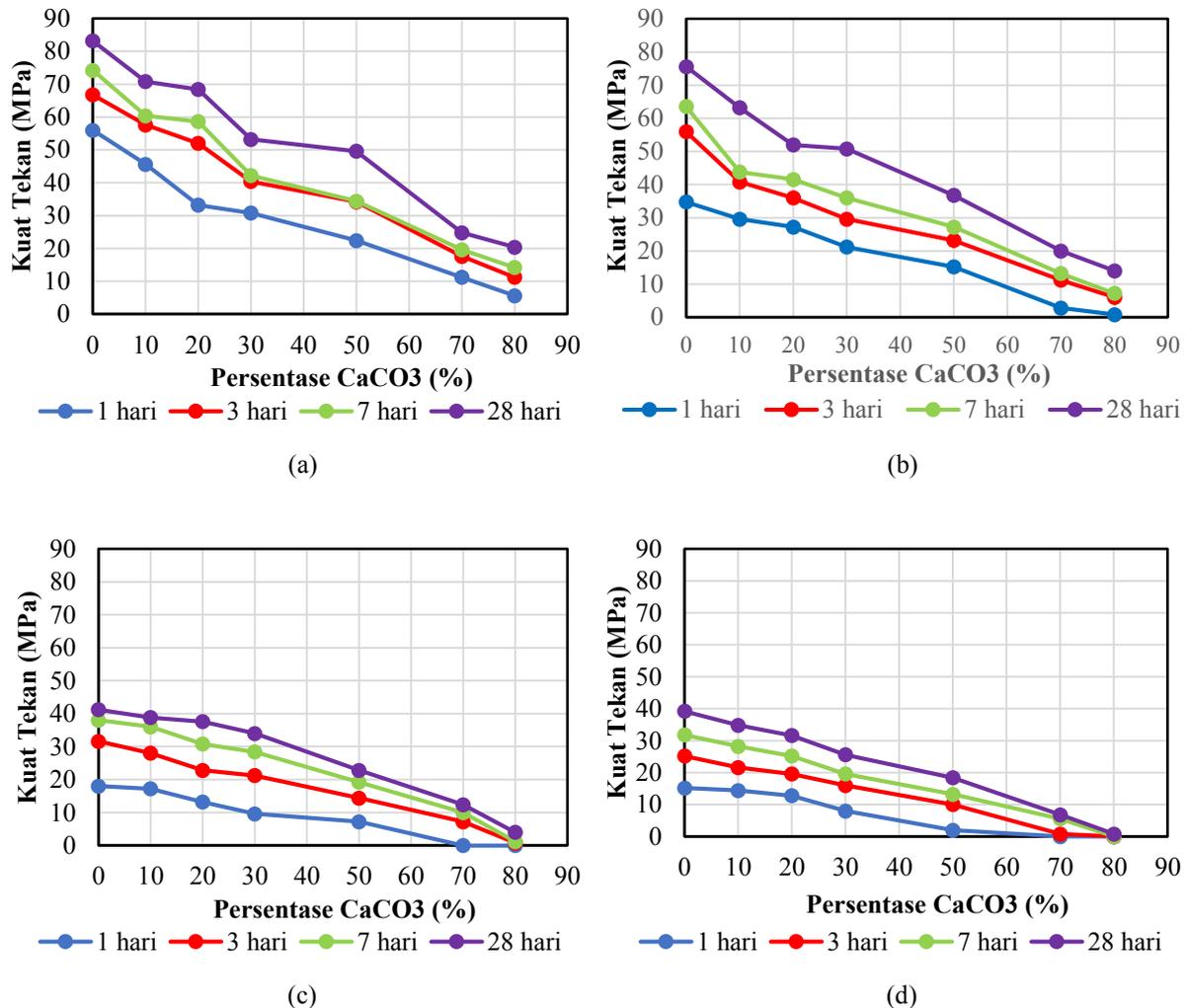
Sebelum melakukan pembuatan mortar dan beton, dilakukan analisa *void volume* terlebih dahulu untuk mengetahui jumlah kebutuhan semen. Dalam analisa *void volume*, diambil nilai *void volume* terendah yang akan digunakan untuk menghitung jumlah kebutuhan semen. Dosis kalsium karbonat yang digunakan untuk menggantikan sebagian semen pada mortar adalah 10%, 15%, dan 20% dari *cementitious material*. Sedangkan dosis kalsium karbonat yang digunakan untuk menggantikan sebagian semen pada beton adalah 20% dari *cementitious material*. Jumlah kebutuhan semen yang digunakan pada *mix design* mortar dan beton menyesuaikan dosis kalsium karbonat yang digunakan.

Pada campuran mortar digunakan kalsium karbonat dan VMA pada *w/cm* 0.3 dan 0.35 untuk mengetahui pengaruh penggantian kalsium karbonat dengan pengaplikasian VMA menggunakan kadar air yang minimum, serta untuk mengetahui dosis VMA yang dapat membuat campuran menjadi homogen. Pada campuran beton digunakan kalsium karbonat dan VMA pada *w/cm* 0.3, 0.4, dan 0.5 untuk mengetahui pengaruh penggantian kalsium karbonat dengan pengaplikasian VMA menggunakan variasi kadar air, serta untuk mengetahui dosis VMA yang dapat membuat campuran menjadi homogen.

Campuran mortar dicetak pada bekisting kubus berukuran 5x5x5 cm. Pengujian *flow table* dilakukan untuk mengetahui campuran mortar yang homogen. Pengujian kuat tekan mortar dilakukan pada umur 1, 3, 7, dan 28 hari. Untuk campuran beton dicetak pada bekisting silinder berukuran 10x20 cm. Pengujian *slump flow test* dilakukan untuk mengetahui campuran beton yang homogen. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7 dan 28 hari.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Penggantian Sebagian Semen dengan Kalsium Karbonat



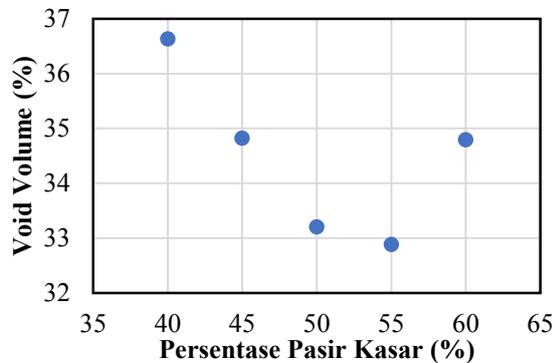
Gambar 1. Kuat Tekan Mortar pada : (a) w/cm 0.25 (b) w/cm 0.3 (c) w/cm 0.35 (d) w/cm 0.4

Pada **Gambar 1** dapat dilihat bahwa semakin banyak penggunaan kalsium karbonat, maka semakin rendah kuat tekan mortar yang dihasilkan. Kalsium karbonat dengan dosis yang lebih dari 20% mengalami penurunan kuat tekan mortar yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan kalsium karbonat dengan dosis 0%-20%. Oleh karena itu, kalsium karbonat yang efektif untuk mengurangi penggunaan semen dan menghasilkan kuat tekan mortar yang cukup tinggi (> 30 MPa) dapat diperoleh pada dosis sebesar 10%-20% dari berat *cementitious material*.

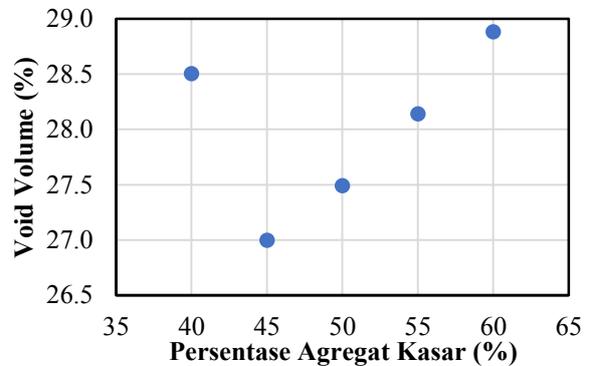
3.2 Analisa Void Volume Mortar dan Beton

Analisa *void volume* pada mortar dan beton dilakukan untuk menentukan kepadatan tertinggi dengan jumlah pasta yang minimum (rendah semen). Pada **Gambar 2** dapat dilihat hasil *void volume* mortar pada variasi komposisi 40% pasir kasar dengan 60% pasir halus, 45% pasir kasar dengan 55% pasir halus, 50% pasir kasar dengan 50% pasir halus, 55% pasir kasar dengan 45% pasir halus, dan 60% pasir kasar dengan 40% pasir halus. *Void volume* terendah diperoleh pada campuran 55% pasir kasar dan 45% pasir halus sebesar 32.88%. Pada **Gambar 3** dapat dilihat hasil *void volume* beton pada variasi

komposisi 40% agregat kasar dengan 60% agregat halus, 45% agregat kasar dengan 55% agregat halus, 50% agregat kasar dengan 50% agregat halus, 55% agregat kasar dengan 45% agregat halus, dan 60% agregat kasar dengan 40% agregat halus. *Void volume* terendah diperoleh pada campuran 45% agregat kasar dan 55% agregat halus sebesar 27%.



Gambar 2. *Void Volume* Mortar



Gambar 3. *Void Volume* Beton

3.3 Analisa *Mix Design* Mortar dan Beton

Pada **Tabel 2** dapat dilihat *mix design* mortar pada w/cm 0.3 (notasi W30) dengan perbandingan *cementitious material* dan pasir sebesar 1:2.93. Kemudian pada **Tabel 3** dapat dilihat *mix design* mortar pada w/cm 0.35 (notasi W35) dengan perbandingan *cementitious material* dan pasir sebesar 1:3.16. Notasi C menunjukkan kadar kalsium karbonat yang digunakan, yaitu sebesar 0%-20%. Notasi C00 digunakan sebagai kontrol dimana tidak ada penggunaan kalsium karbonat. Notasi S menunjukkan nilai SP sebesar 0.5%-1%. Notasi V menunjukkan dosis penggunaan VMA yang bervariasi untuk menghasilkan campuran yang homogen. Pada **Tabel 4** dapat dilihat *mix design* beton pada w/cm 0.3 (notasi W3), w/cm 0.4 (notasi W4), dan w/cm 0.5 (notasi W5). Notasi V menunjukkan dosis penggunaan VMA yang bervariasi untuk menghasilkan campuran yang homogen.

Tabel 2. *Mix Design* Mortar w/cm 0.3

Notasi Spesimen	Semen (gr)	CaCO ₃ (gr)	Pasir		w/cm	Air (gr)	SP (%)	VMA (%)
			Kasar (gr)	Halus (gr)				
C00SW30	1282	-	2063	1688	0.3	385	0.5-1	0.25
C10SW30	1154	128						
C15SW30	1090	192						
C20SW30	1026	256						
C00W30	1282	-					1	
C10W30	1154	128						
C15W30	1090	192						
C20W30	1026	256						
V25W30			0.25					
V35W30			0.35					
V45W30			0.45					

Tabel 3. Mix Design Mortar w/cm 0.35

Notasi Spesimen	Semen (gr)	CaCO ₃ (gr)	Pasir		w/cm	Air (gr)	SP (%)	VMA (%)			
			Halus (gr)	Kasar (gr)							
C00SW35	1186	-	2063	1688	0.35	415	0.5-1	0.25			
C10SW35	1068	119									
C15SW35	1008	178									
C20SW35	949	237									
C00W35	1186	-					949		237	1	1
C10W35	1068	119									
C15W35	1008	178									
C20W35											
V25W35											
V35W35											
V85W35						0.25					
V100W35							0.35				
							0.85				
							1.00				

Tabel 4. Mix Design Beton

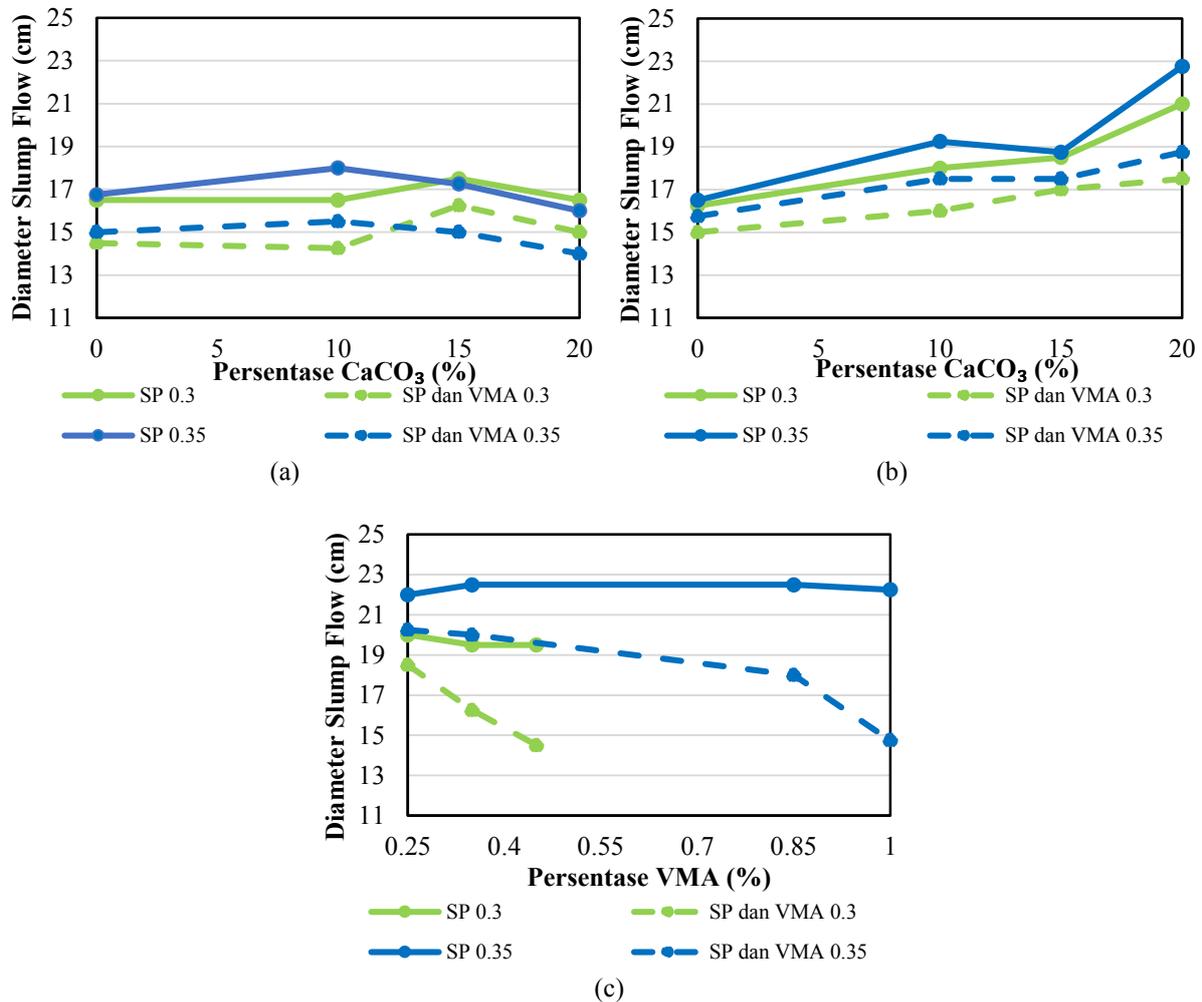
Notasi Spesimen	Semen (kg/m ³)	CaCO ₃ (kg/m ³)	Agregat		w/cm	Air (kg/m ³)	SP (%)	VMA (%)
			Kasar (kg/m ³)	Halus (kg/m ³)				
W3V25	366	91	794	961	0.3	137	1	0.25
W3V35								0.35
W3V85								0.85
W4V25	317	79	794	961	0.4	158	0.75	0.25
W4V45								0.45
W4V95								0.95
W5V25	280	70	794	961	0.5	175	0.5	0.25
W5V50								0.50
W5V100								1.00

3.4 Analisa Flow Table Mortar

Analisa *flow table* dilakukan untuk mengukur *flowability* dan konsistensi campuran mortar. Selain itu, analisa ini dapat digunakan untuk menentukan pengaruh penambahan VMA yang efektif untuk mengurangi *bleeding* dan segregasi, serta membuat campuran menjadi lebih kental.

Gambar 4a menunjukkan campuran mortar dengan w/cm 0.3 dan 0.35 dengan penggunaan SP sebesar 0.5%-1% dari berat *cementitious material* serta VMA sebesar 0.25% dari berat semen. Penambahan VMA menyebabkan terjadinya penurunan diameter *slump flow*. **Gambar 4b** merupakan campuran mortar dengan w/cm 0.3 dan 0.35 dengan penggunaan SP sebesar 1% dari berat *cementitious material* serta VMA sebesar 0.25% dari berat semen. Oleh karena hasil penurunan diameter *slump flow* pada penggantian kalsium karbonat sebesar 20% dan penggunaan SP sebesar 1% masih terlihat *bleeding* dan

segregasi, maka ditambahkan VMA sebesar 0.25% - 1% untuk mengurangi *bleeding* dan segregasi, serta membuat campuran menjadi lebih kental. Hal ini dapat dilihat pada **Gambar 4c**.

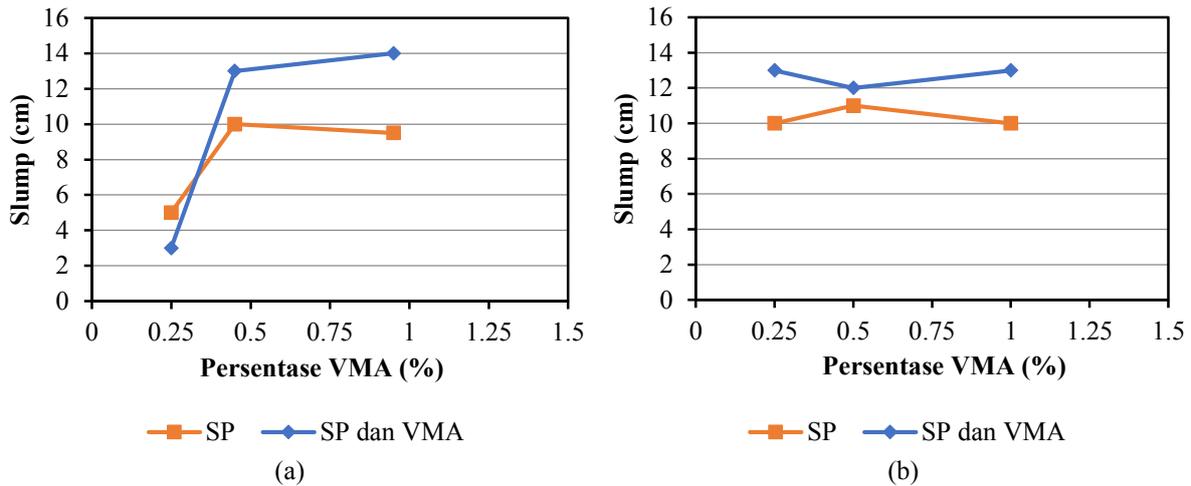


Gambar 4. Diameter *Slump Flow* pada : (a) SP 0.5%-1%; VMA 0.25% (b) SP 1%; VMA 0.25% (c) Kalsium Karbonat 20%; SP 1%

3.5 Analisa *Slump Test* Beton

Analisa *slump test* dilakukan untuk mengukur tinggi jatuh campuran dan *workability* beton. Selain itu, analisa ini dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh penambahan VMA yang efektif untuk mengurangi *bleeding* dan segregasi, serta membuat campuran menjadi lebih kental. Tidak terjadi penurunan *slump* baik sebelum maupun setelah dilakukan penambahan VMA pada *w/cm* 0.3 dikarenakan campuran masih padat (*slump* = 0).

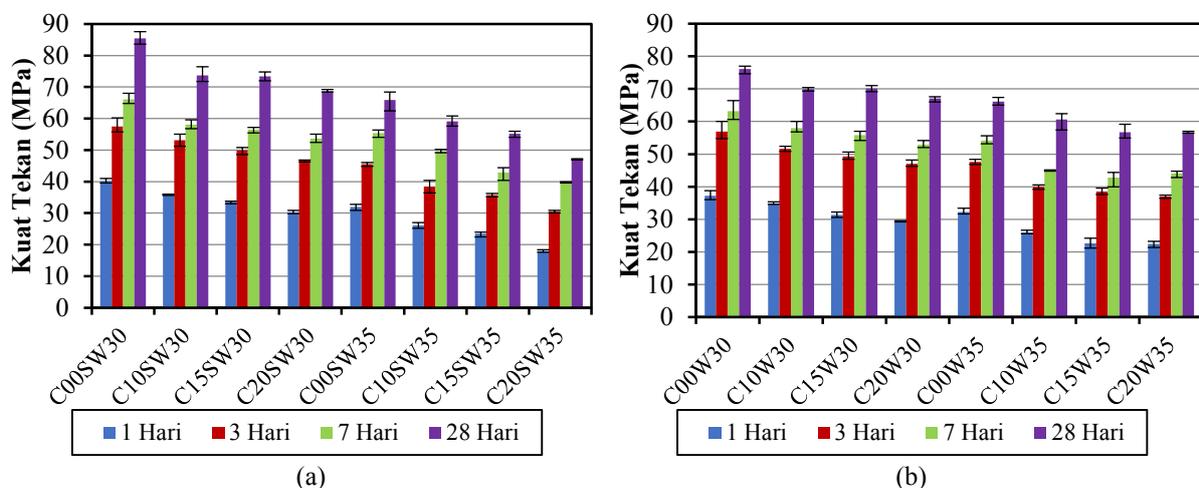
Gambar 5a merupakan beton dengan *w/cm* 0.4. Terjadi peningkatan *slump* setelah penggunaan VMA sebesar 0.45% dan 0.95%. Hal ini terjadi karena volume pasta lebih besar daripada volume rongga ($V_p/V_v = 110\%$) dengan *w/cm* yang cukup tinggi, sehingga campuran belum dapat menyatu dengan baik. **Gambar 5b** merupakan beton dengan *w/cm* 0.5. Terjadi peningkatan *slump* setelah penggunaan VMA sebesar 0.5% dan 1%. Hal ini dikarenakan volume pasta lebih besar daripada volume rongga ($V_p/V_v = 110\%$) dengan *w/cm* yang tinggi, sehingga campuran juga belum dapat menyatu dengan baik.

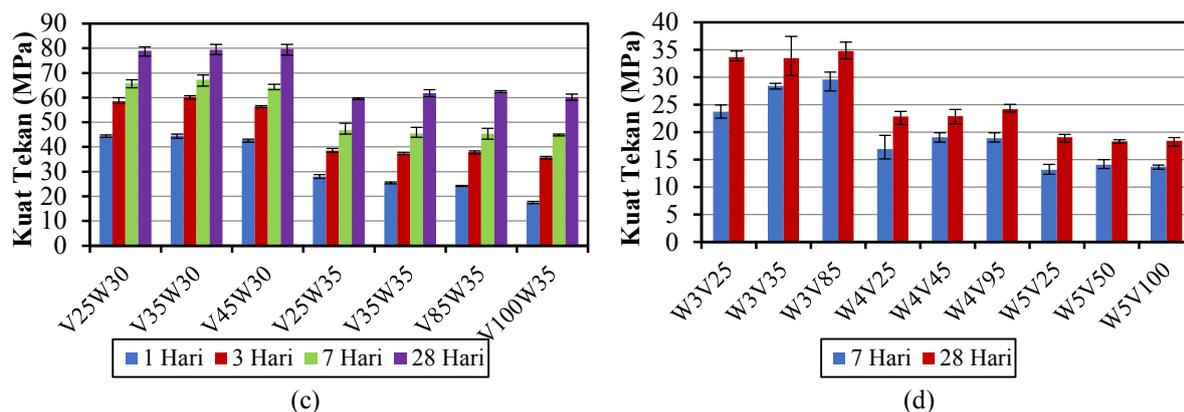


Gambar 5. Slump pada (a) w/cm 0.4; SP 0.75% (b) w/cm 0.5; SP 0.5%

3.6 Hasil Analisa Kuat Tekan Mortar dan Beton

Gambar 6a menunjukkan hasil kuat tekan mortar pada SP 0.5%-1% dan VMA 0.25%. Pada umur 1 dan 3 hari, kenaikan kuat tekan yang dihasilkan lebih tinggi sebesar ± 15 MPa dibandingkan dengan umur 7 dan 28 hari sebesar ± 8 MPa. **Gambar 6b** menunjukkan hasil kuat tekan mortar pada SP 1% dan VMA 0.25%. Kuat tekan yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan SP 0.5%-1%. Hal ini disebabkan karena penggunaan SP yang berlebih dapat mengurangi kuat tekan. **Gambar 6c** menunjukkan hasil kuat tekan mortar pada SP 1% dan VMA yang bervariasi. Kuat tekan yang dihasilkan lebih tinggi dibanding dengan penggunaan pada SP 0.5-1% dan VMA 0.25%, serta SP 1% dan VMA 0.25%. Hal ini disebabkan karena penggunaan VMA yang lebih efektif, mengurangi *bleeding* dan segregasi. Dengan demikian, kuat tekan yang dihasilkan lebih tinggi. Kuat tekan mortar tertinggi yang dihasilkan yaitu 79.80 MPa pada w/cm 0.3, serta 62.27 MPa pada w/cm 0.35. **Gambar 6d** menunjukkan hasil kuat tekan beton pada w/cm 0.3, 0.4, dan 0.5. Hasil kuat tekan beton tertinggi pada w/cm 0.3 sebesar 34.75 MPa didapatkan dengan VMA 0.85% dari berat semen. Untuk w/cm 0.4, hasil kuat tekan beton tertinggi didapatkan dengan VMA 0.95% dari berat semen sebesar 24.18 MPa. Sedangkan hasil kuat tekan beton tertinggi pada w/cm 0.5 didapatkan sebesar 19.05 MPa dengan VMA 0.25% dari berat semen. Hasil kuat tekan beton dengan menggunakan kalsium karbonat lebih rendah dari beton dengan penggunaan 100% semen. Hal ini dikarenakan kalsium karbonat hanya menjadi material pengisi dan tidak menambah kekuatan.





Gambar 6. Kuat Tekan pada : (a) Mortar dengan SP 0.5%-1%; VMA 0.25% (b) Mortar dengan SP 1%; VMA 0.25% (c) Mortar dengan SP 1%; VMA Bervariasi (d) Beton

4. KESIMPULAN

1. Penggunaan $\text{CaCO}_3 \leq 20\%$ pada w/cm 0.25, 0.3, 0.35, dan 0.4 menghasilkan kuat tekan mortar > 30 MPa, tetapi kuat tekannya lebih rendah 0.1%-0.3% dari penggunaan 100% semen.
2. Penambahan dosis VMA menyebabkan terjadinya penurunan diameter *slump flow* mortar, peningkatan *slump* beton, serta membuat campuran mortar dan beton menjadi lebih homogen.
3. Penggunaan SP dan VMA menghasilkan kuat tekan yang tinggi dengan SP 1% dan variasi penambahan dosis VMA.
4. Uji kuat tekan mortar dan beton tergantung dari w/cm , SP, dan semen yang digunakan. Penambahan dosis VMA pada CaCO_3 20% menghasilkan kuat tekan mortar dan beton yang stabil.
5. Penggunaan CaCO_3 20% pada beton untuk w/cm 0.3 dan 0.4 belum memenuhi standar beton rendah semen, namun termasuk tahap pengembangan beton rendah semen.
6. Penggunaan CaCO_3 20% pada beton dengan w/cm 0.5 memenuhi standar beton rendah semen. Akan tetapi, hasil kuat tekan yang dihasilkan masih rendah (< 20 MPa).

5. DAFTAR REFERENSI

- ACI Committee 302. (2004). Guide for Concrete Floor and Slab Construction. *In American Concrete Institute*.
- Andreas, & Christian, E. (2018). *Pengaruh Penambahan Viscosity Modifying Admixture terhadap Kuat Tekan Mortar dan Beton Rendah Semen*. (SIP). Unpublished Undergraduate Thesis, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- EFNARC, & EFCA. (2006). Guidelines for Viscosity Modifying Admixtures for Concrete. *Guidelines for Viscosity Modifying Admixtures for Concrete*, (September), 12.
- Kwan, K. H. A., & Wong, H. C. H. (2005). Packing Density: A Key Concept for *Mix Design* of High Performance Concrete. *Department of Civil Engineering, The University of Hong Kong, Hong Kong*, 2-3,13.
- Liu, X., Chen, L., Liu, A., & Wang, X. (2011). Effect of Nano- CaCO_3 on Properties of Cement Paste. *Energy Procedia*, 16(PART B), 991–996. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.01.158>
- Lothenbach, B., Scrivener, K., & Hooton, R. D. (2011). Supplementary Cementitious Materials. *Cement and Concrete Research*, 41(12), 1244–1256. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.12.001>
- Shaikh, F. U. A., & Supit, S. W. M. (2014). Mechanical and Durability Properties of High Volume Fly Ash (HVFA) Concrete Containing Calcium Carbonate (CaCO_3) Nanoparticles. *Construction and Building Materials*, 70, 309–321. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.099>
- Umar, A., & Al-Tamimi, A. (2011). Influence of Viscosity Modifying Admixture (VMA) on The Properties of SCC Produced Using Locally Supplied Material in Bahrain. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 5(1), 32-49.