

KAJIAN KUAT LENTUR PADA BETON MEMADAT MANDIRI MUTU TINGGI DENGAN METAKAOLIN 12,5% DAN VARIASI SILICA FUME

Endah Safitri, Wibowo, Agus Fatahillah

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126. Telp: 0271-634524.

Email: endahsafitri@staff.uns.ac.id

Abstract

The main construction material that is easy to obtain is concrete so that the need for concrete continues to increase and concrete innovations are needed, including self-compacting and high quality concrete that has the ability to flow well through complex reinforcement. This study aims to determine the effects of metakaolin substitution and variation silica fume in high quality self-compacting concrete with respect to flexural strength values. Metakaolin and silica fume acts as a substitute for cement. The method used in this research is experimental method. The test object used is a block with a size of 10 x 10 x 40 cm tested using a testing machine Universal Testing Machine using method third point loading. Fresh concrete testing is carried out to find out whether the fresh concrete meets the standards Self Compacting Concrete. Based on research results of 12.5% metakaolin substitution and variation silica fume improve the workability of fresh concrete to meet the parameters segregation resistance, passing ability, and filling ability and increasing the value of the flexural strength of concrete at the age of 28 days for concrete contents silica fume 0%; 9%; 11%; 13% and 15% with a value of 5,17 MPa; 5,96 MPa; 6,41 MPa; 6,27 MPa and 6,09 MPa.

Keywords: flexural strength, high strength self compacting concrete, metakaolin, silica fume.

Abstrak

Bahan utama konstruksi yang mudah didapatkan adalah beton sehingga kebutuhan beton terus meningkat dan dibutuhkan inovasi beton antara lain adalah beton memadat mandiri dan mutu tinggi yang mempunyai kemampuan mengalir dengan baik dalam melewati tulangan yang kompleks. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan efek substitusi metakaolin dan variasi *silica fume* pada beton memadat mandiri mutu tinggi terhadap nilai kuat lentur. Metakaolin dan *silica fume* berperan sebagai bahan substitusi pengganti semen. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental. Benda uji yang digunakan merupakan balok dengan ukuran 10 x 10 x 40 cm diuji menggunakan mesin uji *Universal Testing Machine* menggunakan metode *third point loading*. Dilakukan pengujian beton segar untuk mengetahui apakah beton segar sudah memenuhi standar *Self Compacting Concrete*. Berdasarkan hasil penelitian substitusi metakaolin 12,5% dan variasi *silica fume* meningkatkan workabilitas pada beton segar memenuhi parameter *segregation resistance*, *passing ability*, dan *filling ability* dan meningkatkan nilai kuat lentur beton pada umur beton 28 hari untuk kadar *silica fume* 0%; 9%; 11%; 13% dan 15% dengan nilai 5,17 MPa; 5,96 MPa; 6,41 MPa; 6,27 MPa dan 6,09 MPa.

Kata Kunci : beton memadat mandiri mutu tinggi, kuat lentur, metakaolin, *silica fume*.

PENDAHULUAN

Infrastruktur di Indonesia akan terus mengalami perkembangan yang pesat karena infrastruktur merupakan salah satu faktor yang menentukan pertumbuhan ekonomi suatu negara dan merupakan roda penggerak pertumbuhan ekonomi (Irefan & Adry, 2015). Bahan utama dalam pembangunan infrastruktur yang banyak digunakan pada berbagai konstruksi saat ini adalah material beton. Beton adalah suatu material secara harfiah merupakan bentuk dasar kehidupan social modern yang terdiri dari campuran antara semen, air dan agregat (Muzawi et al., 2019; Pane et al, 2015). Dengan meningkatnya kebutuhan akan beton di seluruh dunia maka semakin meningkat pula produksi semen sebagai bahan dasar pembuatan beton (Darma et al., 2018). Penggunaan beton yang terus meningkat memicu munculnya inovasi-inovasi yang dibutuhkan dimasa sekarang. Diperlukan adanya inovasi beton yang mempunyai kelebihan dapat mengalir dan memadat mandiri yaitu beton *Self Compacting Concrete*. Beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete*) adalah beton yang dapat dicetak pada bekisting dengan sendirinya mengalir sendiri pada saat beton segar tanpa harus menggunakan alat pematik pada saat proses pengerjaannya (Yanto Hermansah & Sihotang, 2019; Khayat & De Schutter, 2014).

Pada pembuatan campuran beton yang memiliki kemampuan memadat mandiri dibutuhkan *admixture* baik secara sendiri-sendiri atau bersama-sama untuk menutupi kekurangan campuran beton segar yang dibuat sangat cair atau

nilai slumpnya besar (Amiruddin et al., 2015). Maka digunakan substitusi kedalam beton segar yang berguna untuk meningkatkan nilai slump untuk memudahkan *workability* pada saat beton segar yaitu *superplasticizer*. *Superplasticizer* akan secara signifikan mengurangi air yang dibutuhkan untuk pencampuran beton (Zeng et al., 2012). Penggunaan *superplasticizer* dapat menjaga workabilitas beton ketika penggunaan faktor air semen (FAS) yang rendah. Penambahan *uperplasticizer* 0,2% sampai 2% dari berat binder mencapai slump flow dengan diameter alir ≥ 50 cm sehingga dapat dikategorikan *self compacting concrete* (Adityo et al., 2014). Kadangkala jika ingin suatu tingkat beton dengan kualitas tertentu agar mutu yang dihasilkan bagus maka campuran beton disubstitusikan bahan *admixture* sesuai rancangan yang direncanakan (Ahmad, 2011). Selain untuk merubah sifat-sifat beton penggunaan bahan tambah diharapkan mampu mengurangi penggunaan semen guna lebih ekonomis dan kuat tekan yang dihasilkan meningkat (Haris & Firdaus, 2021).

Untuk memenuhi beton dengan kualitas mutu tinggi maka ditambahkan bahan pozzolan yaitu *silica fume* dan metakaolin. *Silica fume* digunakan sebagai campuran beton yang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat-sifat yang dihasilkan bahan tersebut (Chung, 2002). *Silica fume* mengandung unsur SiO₂ lebih dari 85% dengan demikian *silica fume* dapat dikategorikan sebagai *pozzolant* (Tarru, 2018; Suharwanto, 2020; Mahendra, 2023). Pozzolan merupakan bahan yang mengandung senyawa silica atau silica alumina yang mempunyai sifat mengikat seperti semen (Romli & HMN, 2015).

SNI 03-6468-2000, beton dikatakan kualitas mutu tinggi dapat diartikan beton yang mempunyai nilai kuat tekan lebih besar sama dengan 41,4 MPa. Metakaolin akan mengisi rongga-rongga pada beton serta meningkatkan kepadatan beton. maka akan bereaksi dengan kristal kalsium hidroksida hasil dari proses hidrasi semen dengan air, kemudian menghasilkan kalsium silikat dan kalsium aluminat hidrat (Sambowo, 2002). Metakaolin juga memiliki kemampuan untuk bereaksi dengan kalsium hidroksida (*pozzolanitas*) pozzolan yang sangat efektif dapat mengubah struktur pasta semen dengan meningkatkan ketahanannya terhadap transportasi air dan difusi ion yang berbahaya, dan bermanfaat dalam mortar campuran, pasta semen dan beton. (Gameiro et al., 2012). Penggunaan kadar metakaolin 12,5% dari berat binder didapat nilai kuat tekan rata-rata 50,09 MPa. (Wibowo et al., 2019)

Kuat lentur merupakan kemampuan dari stuktur balok mampu menahan patah yang dilakukan pengujian dengan meletakkan balok benda uji beton pada tumpuan sederhana yaitu berupa perletakan sendi rol. Sebuah balok yang diberi beban akan mengalami deformasi, oleh sebab itu timbul momen-momen lentur sebagai perlawanan dari material yang membentuk balok tersebut terhadap beban luar (Eveline Untu J Kumaat & Windah, 2015). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh substitusi metakaolin 12,5% dan *silica fume* dengan variasi kadar 0%; 9%; 11%; 13%; dan 15% dari total berat binder terhadap kuat lentur pada beton memadat mandiri mutu tinggi.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dan parameter yang diuji adalah kuat lentur pada beton HSSCC terhadap substitusi metakaolin 12,5% dan variasi *silica fume* sebagai pengganti semen.

Berdasarkan standar EFNARC 2005 pengujian beton segar dengan parameter *Self Compacting Concrete* yaitu *segregation resistance*, *passing ability*, dan *filling ability* serta pengujian beton keras yaitu pengujian kuat lentur yang dilakukan ketika beton telah berumur 28 hari. Pengujian kuat lentur dilakukan menggunakan mesin uji UTM dengan benda uji berukuran 10 x 10 x 40 cm sebanyak 15 buah. Variasi kadar *silica fume* yang digunakan pada penelitian ini adalah 0%; 9%; 11%; 13%; dan 15%. Benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat lentur tercantum pada **Tabel 1** di bawah ini.

Tabel 1. Benda Uji Kuat Lentur

No.	Kadar Metakaolin (%)	Kadar <i>Silica Fume</i> (%)	Kode Benda Uji	Umur (hari)	Jumlah Benda Uji
1		0,0%	HSSCC-SF-0% -LTS	28	3
2		9,0%	HSSCC-SF-9% - LTS	28	3
3	12,5%	11,0%	HSSCC- SF-11%- LTS	28	3
4		13,0%	HSSCC- SF-13%- LTS	28	3
5		15,0%	HSSCC- SF-15%- LTS	28	3
Total Benda Uji					15

Mix Design

Beton *High Strength Self Compacting Concrete* dengan substitusi metakaolin dan variasi *silica fume* harus dirancang dengan komposisi penyusun beton yang sesuai dengan proporsi campuran beton agar dapat memenuhi parameter *self compacting concrete*. Rancang campur *High Strength Self Compacting Concrete* dengan substitusi metakaolin dan variasi komposisi *silica fume* dirancang dengan acuan EFNARC 2005. Digunakan FAS 0,25 dan *superplasticizer* sebanyak 1,5% dari berat binder. Hasil perhitungan rancang campur dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Rancang Campur Beton Memadat Mandiri Mutu Tinggi

Benda Uji	Agg. Halus (Kg/m ³)	Agg. Kasar (Kg/m ³)	Semen (Kg/m ³)	Metakaolin (Kg/m ³)	Silica Fume (Kg/m ³)	SP (lt/m ³)	Air (lt/m ³)
HSSCC-SF0%-SCL	925,94	783,71	525,00	0,00	75,00	9,00	150,00
HSSCC-SF9%-SCL	916,25	775,51	471,00	54,00	75,00	9,00	150,00
HSSCC-SF11%-SCL	914,10	773,69	459,00	66,00	75,00	9,00	150,00
HSSCC-SF13%-SCL	911,94	771,87	447,00	78,00	75,00	9,00	150,00
HSSCC-SF15%-SCL	911,94	771,87	435,00	90,00	75,00	9,00	150,00

Kuat Lentur Beton

Pengujian beton keras yaitu kuat lentur dilakukan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM). Dimensi benda uji berbentuk balok dengan ukuran 10 x 10 x 40 cm. Dilakukan pada umur beton mencapai 28 hari dimana mencapai kuat tekan rencana. Beton diletakan pada alat dengan posisi horizontal (mendatar) dengan panjang bentang efektif yang digunakan 30 cm dengan bentang 2 tumpuan yang masing-masing berjarak 1/3 bentang (*Third Point Loading*) di ujung bentang telah diberikan tumpuan sendi rol. Benda uji diberikan gaya hingga terjadinya *crack* tegak lurus sumbu benda uji tersebut bahwa benda uji tersebut mencapai beban maksimum yang di terimanya.

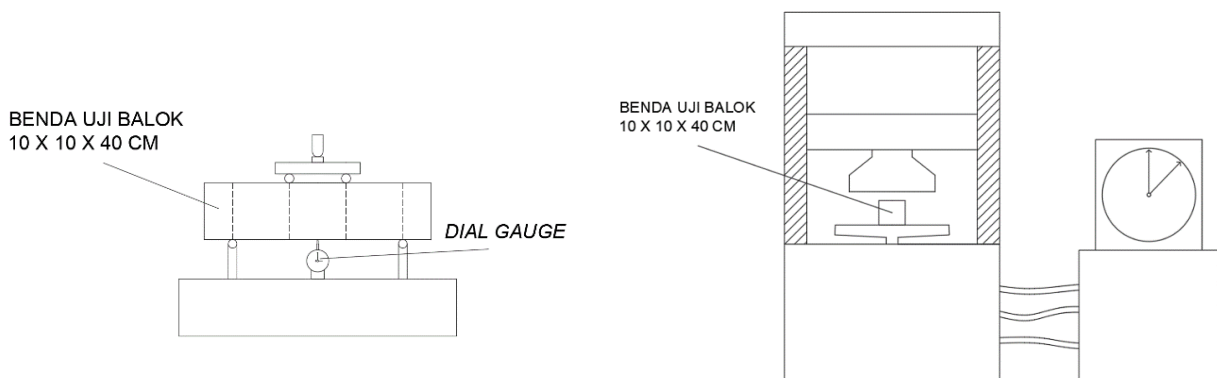
$$\sigma_f = \frac{Mx \times Y}{I} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$I = \frac{1}{12} \times B \times D^3 \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan

- σ_f = Nilai kuat lentur (MPa)
- Mx = Momen lentur/momen maks (Nmm)
- Y = Jarak sumbu netral ke lapisan atas beton (mm)
- I = Momen inersia balok (mm⁴)
- B = Lebar balok (mm)
- D = Tinggi balok (mm)

Set up pengujian kuat lentur menggunakan mesin *Universal Testing Machine* dengan memberi alat *dial gauge* di bawah benda uji untuk menghitung lendutan yang terjadi dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. *Set up* pengujian kuat lentur

Pengujian Beton Segar

Tingkat kemudahan pengerjaan dapat diketahui dengan melakukan pengujian pada beton segar, beton diuji dalam keadaan segar. Pengujian yang dilakukan pada HSSCC (*High Strength Self Compacting Concrete*) berdasarkan EFNARC 2005 yaitu *V-funnel test*, *L-box test*, dan *slump flow test* untuk mengetahui parameter beton SCC yaitu *segregation resistance passing ability*, dan *filling ability*.

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Beton Segar

Hasil pengujian beton segar *V-funnel test*, *L-box test*, dan *slump flow test* dapat dilihat pada **Tabel 3** hingga **Tabel 5** di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian *V-Funnel*

Kode Benda Uji	<i>V-Funnel</i> (detik)	Syarat	Keterangan
HSSCC SCF 0%	11	6 sampai 12 detik EFNARC 2005	√
HSSCC SCF 9%	10,5		√
HSSCC SCF 11%	9		√
HSSCC SCF 13%	8,5		√
HSSCC SCF 15%	7,5		√

Tabel 4. Hasil Pengujian *L-Box*.

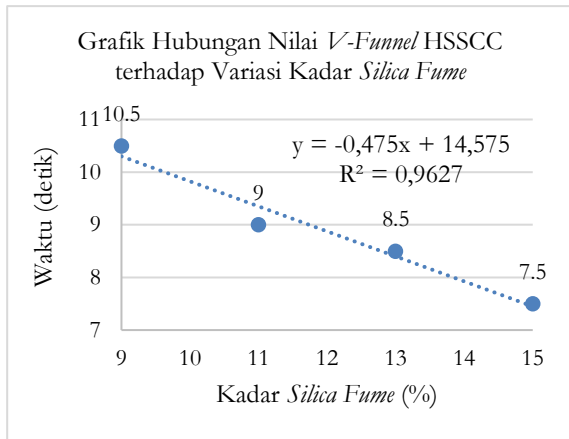
Kode Benda Uji	h2 (cm)	h1 (cm)	h2/h1	Syarat	Keterangan
HSSCC SCF 0%	8	10	0,8	0,8 sampai 1 EFNARC 2005	√
HSSCC SCF 9%	9	10	0,9		√
HSSCC SCF 11%	11	12	0,92		√
HSSCC SCF 13%	10	10	1		√
HSSCC SCF 15%	10	10	1		√

Tabel 5. Hasil Parameter Pengujian *Slump Flow*

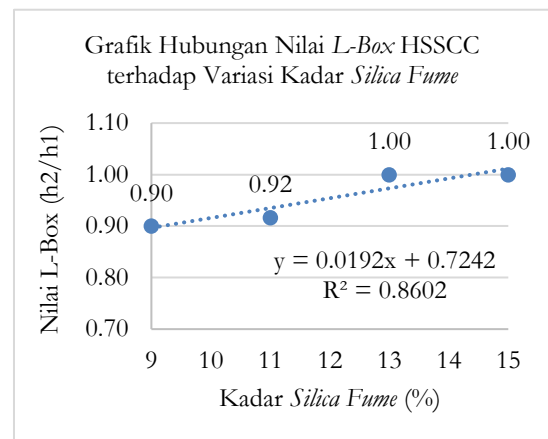
Kode Benda Uji	Pengujian <i>Slump Flow</i>							
	T ₅₀₀ rerata (detik)	Syarat	Ket.	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D _{rerata} (mm)	Syarat	Ket.
HSSCC - SCF-0%	4,6	2 sampai 5 detik EFNARC 2005	√	675	685	680	650 sampai 800 mm EFNARC 2005	√
HSSCC - SCF-9%	4,5		√	725	715	720		√
HSSCC - SCF-11%	4,2		√	720	745	732,5		√
HSSCC - SCF-13%	3,9		√	735	750	742,5		√
HSSCC - SCF-15%	3,4		√	745	760	752		√

Keterangan √ = Memenuhi syarat

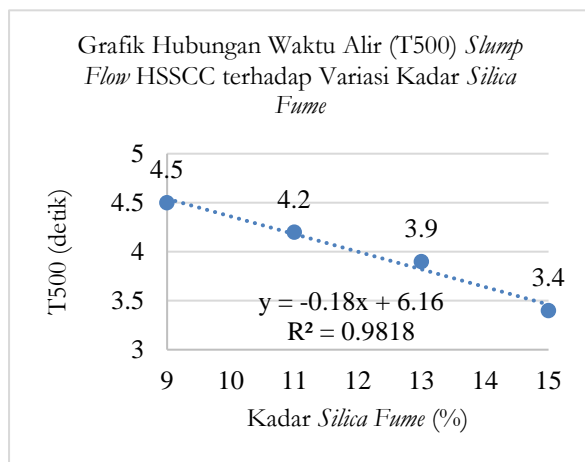
Berdasarkan data pada **Tabel 3** hingga **Tabel 5**, Grafik hubungan antara hasil pengujian *V-Funnel* dengan variasi kadar *silica fume* dapat dilihat pada **Gambar 2**. Grafik hubungan antara hasil pengujian *L-Box* dengan variasi komposisi *silica fume* dapat dilihat pada **Gambar 3**. Grafik hubungan waktu alir beton mencapai diameter 500 mm (T₅₀₀) dengan variasi komposisi *silica fume* dapat dilihat pada **Gambar 4**. Grafik hubungan antara hasil pengujian *slump flow* dengan variasi komposisi *silica fume* yang dapat dilihat pada **Gambar 5**.



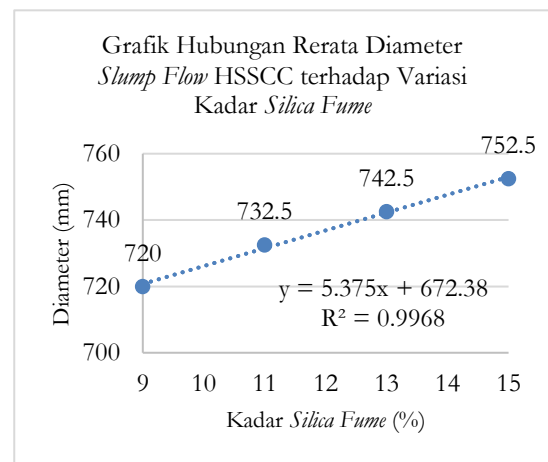
Gambar 2. Grafik nilai waktu tempuh *v-funnel*



Gambar 3. Grafik perbandingan nilai h_2/h_1 *l-box*



Gambar 4. Grafik waktu alir (t500) *slump flow*



Gambar 5. Grafik diameter rata² *slump flow*

Berdasarkan **Gambar 2 hingga 5** dapat dilihat bahwa pengaruh dari penambahan *silica fume* meningkatkan *workability* beton memadat mandiri dan telah memenuhi syarat sebagai *Self Compacting Concrete* yang sesuai dengan standar EFNARC 2005.

Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton HSSCC

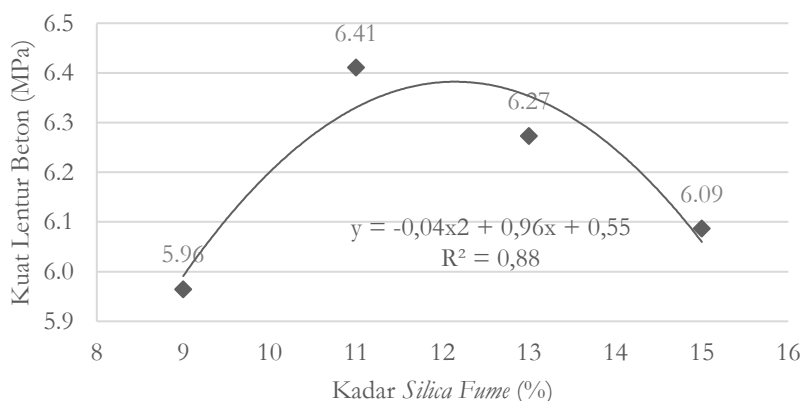
Hasil pengujian kuat lentur beton HSSCC dengan substitusi metakaolin 12,5% dan variasi *silica fume* 0%; 9%; 11%; 13%; 15% terdapat pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Nama Benda Uji	Berat Volume (N/mm ³)	Gaya (N)	Momen Lentur (Mpa)	Kenaikan (%)
HSSCC-SF 0%-LTS	2,43×10 ⁻¹	17178	5,17	
HSSCC-SF 9%-LTS	2,47×10 ⁻¹	19826	5,96	15,37
HSSCC-SF 11%-LTS	2,46×10 ⁻¹	21313	6,41	24,00
HSSCC-SF 13%-LTS	2,46×10 ⁻¹	20855	6,27	21,34
HSSCC-SF 15%-LTS	2,42×10 ⁻¹	20234	6,09	17,74

Dari data nilai analisis pada **Tabel 6** hasil pengujian kuat lentur beton HSSCC substitusi metakaolin 12,5% dan variasi *silica fume*, pada komposisi bahan penggantian semen dengan metakaolin 12,5% dan *silica fume* kadar 9% ;11%; 13% dan 15% mengalami kenaikan nilai kuat lentur beton dari beton menggunakan bahan tambah metakaolin 12,5% dan tanpa *silica fume* dengan persentase 15,17%; 24%; 21,4% dan 17,74%.

Berdasarkan data pada **Tabel 6** untuk lebih mudah dapat dibuatkan grafik hubungan antara kuat lentur beton dengan setiap substitusi kadar *silica fume* yang terdapat pada **Gambar 6** berikut ini.



Gambar 6. Grafik hubungan antara variasi kadar *silica fume* dengan nilai kuat lentur

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan riset di atas, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Substitusi metakaolin 12,5% dan variasi *silica fume* pada campuran beton sebagai bahan pengganti semen memenuhi syarat sebagai beton memadat mandiri mutu tinggi. Penambahan metakaolin 12,5% dan variasi komposisi *silica fume* kadar 9%, 11%, 13% dan 15% dari berat semen memperbaiki *workability* pada beton dan memenuhi syarat parameter *filling ability*, *passing ability*, dan *segregation resistance* berdasarkan standar EFNARC 2005.
2. Substitusi metakaolin 12,5% dan variasi *silica fume* terhadap berat semen meningkatkan nilai kuat lentur beton. Peningkatan terjadi saat penambahan kadar *silica fume* sebesar 0%, 9%, 11%, 13% dan 15% sebesar 5,17 MPa; 5,96 MPa; 6,41 MPa; 6,27 MPa dan 6,09 MPa pada umur 28 hari. Penambahan kadar *silica fume* kuat lentur yang optimum yaitu pada kadar 12,16% dengan nilai kuat lentur sebesar 6,3895 MPa.

REKOMENDASI

Penelitian lanjutan untuk topik ini mengetahui nilai kuat lentur beton dengan menggunakan substitusi pozzolan yang lain misal *fly ash* dan melakukan pada umur beton lebih lama dari 28 hari, seperti 56, 72, dan 90 untuk melihat pengaruh penambahan *silica fume* terhadap kuat lentur beton.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak dan ibu dosen yang telah membimbing dan membantu banyak baik dukungan materi, maupun moral kepada penulis di penelitian ini sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan lancar. Kepada pihak yang telah membantu riset ini, penulis juga mengucapkan terima kasih.

REFERENSI

- Adityo, A., Marthin, A., Sumajouw, D. J., & Pandaleke, R. E. (2014). Pengaruh Variasi Kadar Superplasticizer terhadap Nilai Slump Beton Geopolymer. *Jurnal Sipil Statik*, 2(6), 283–291.
- Ahmad, I., (2011), Analisis Perbedaan Kuat Tekan Beton Tambahan Abu Terbang Dengan Beton Normal Yang Direndam Dalam Asam Sulfat Untuk Beton Mutu Rendah. *Konstruksia*, 2(2), 1–8.
- Amiruddin, A., Ibrahim, I., & Sulianti, I., (2015), Pengaruh Perubahan Ukuran Maksimum Agregat Kasar Terhadap Jumlah Semen Untuk Pembuatan Beton Scc Dengan Bahan Tambah Sp430 Dan Rp260. *Pilar*, 10(2), 147–153. <https://www.jurnal.polsri.ac.id/index.php/pilar/article/view/553>
- Chung, D. D. L., (2002), *Improving cement-based materials*. 7, 673–682.

- Darma, A., Rahman N, F., Lie, H. A., & Purwanto. (2018). Studi Experimental Pengaruh Perbedaan Molaritas Aktivator Pada Perilaku Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 7, 89–98.
- EFNARC, 2005, "Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete".
- Eveline Untu J Kumaat, G. E., & Windah, R. S., (2015), Pengujian Kuat Tarik Belah Dengan Variasi Kuat Tekan Beton. *Jurnal Sipil Statik*, 3(10), 703–708.
- Gameiro, A. L., Silva, A. S., Veiga, M. do R., & Velosa, A. L. (2012). Lime-metakaolin hydration products: A microscopy analysis produkti hidrasi Apno-metakaolin: Mikroskopska analiza. *Materiali in Tehnologije*, 46(2), 145–148.
- Haris, S., & Firdaus, R., (2021), Pengaruh Penggunaan Silica Fume Powder Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Online Sekolah Tinggi ...*, 16(1), 97–103.
- Irefan, S., & Adry, M. R., (2018), Pengaruh Infrastruktur Terhadap Pertumbuhan Ekonomi di Indonesia. *ECOsains: Jurnal Ilmiah Ekonomi dan Pembangunan*, 7(1), 57-66.
- Khayat, K. H., & De Schutter, G. (2014). Mechanical properties of self-compacting concrete (Vol. 14, p. 161). Springer.
- Kusno A. Sambowo, 2002, Engineering Properties and Durability Performance of Metakaolin and Metakaolin-PFA Concrete, Thesis, Faculty of Engineering at University of Sheffield, Sheffield.
- Mahendra, A. I. (2023). Pengaruh Penggunaan Silica Fume dan Superplasticizer sebagai Bahan Tambah pada Beton Alir. (The Effect of Using Silica Fume and Superplasticizer As Additives in Flowing Concrete) (Doctoral dissertation, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya).
- Muzawi, R., Tashid, T., & Nasution, M., (2019), Sistem Monitoring Ketersediaan Bahan Baku Cor Beton Menggunakan Metode Market Basket Analysis. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, 1(2), 1–7.
- Pane, F. P., Tanudjaja, H., & Windah, R. S. (2015). Pengujian kuat tarik lentur beton dengan variasi kuat tekan beton. *Jurnal sipil statik*, 3(5).
- Romli, A., & HMN, S., (2015), Pemanfaatan Fly Ash (abu batu bara) yang diaktifkan Untuk Komposisi Semen Portland Pozzolan. *Prosiding Snija*, 410–412.
- Standar Nasional Indonesia, 2000, "03-6468-2000: Tata Cara Perencanaan Beton Berkekuatan Tinggi dengan Semen Portland Dan Abu Terbang, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta."
- Suharwanto, S. (2020, October). EFFECT OF SILICA FUME AND FLY ASH MATERIAL TO THE RECYCLED CONCRETE MORTAR STRENGTH: EXPERIMENTAL STUDY. In SENASTER" Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan" (Vol. 1, No. 1).
- Tarru, R. O., (2018), Studi Penggunaan Silica Fume Sebagai Bahan Pengisi (Filler) Pada Campuran Beton. *Journal Dynamic Sainti*, 3(1), 472–485.
- Wibowo, W., Sunarmasto, S., & Rashad, H., (2019), Kajian Kuat Tarik Langsung Dan Kuat Lekat Pada Beton Mutu Tinggi Memadat Mandiri Dengan Variasi Kadar Metakaolin. *Matriks Teknik Sipil*, 7(4), 458–465
- Yanto Hermansah, F., & Sihotang, A., (2019), RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil ©Jurusan Teknik Sipil Itenas | No Studi Mengenai Pengaruh Ukuran Maksimum Agregat Kasar pada Campuran Beton Memadat Mandiri (SCC). *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 5(1), 62–73.
- Zeng, C., Gong, M., Gui, M., Guo, X., Liu, J., & Lin, T. (2012). Influence of superplasticizer on anti-carbonation property of concrete. *Applied Mechanics and Materials*, 204–208(3), 3790–3794.