

PENGARUH KEHALUSAN FLY ASH TERHADAP SUBSTITUSI SEMEN PCC PADA BETON SCC (SELF COMPACTING CONCRETE)**M. RIZKY RAMANDANI¹, FIRDAUS²**

Falkutas Sains Teknologi, Universitas Bina Darma

Email: rizkyramandani2002@gmail.com¹, email: firdaus.dr@binadarma.ac.id²DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v9i2.7903>

Abstract: This study aims to analyze the effect of the fineness and percentage of fly ash as a partial substitute for cement on the mechanical properties of Self Compacting Concrete (SCC). Fly ash from PT. Pupuk Sriwidjaja was classified into three fineness zones (Zone 1, 2, and 3) and used as a cement substitute at varying percentages of 5%, 10%, and 15%. The research method employed was an experimental laboratory study involving tests for compressive strength (7, 14, 28 days), split tensile strength (28 days), and modulus of elasticity (28 days). The results indicated that the addition of fly ash improved the workability of fresh concrete, as shown by the slump flow values that met the EFNARC specifications. At 28 days, the compressive strength of the concrete increased with the higher percentage and fineness of fly ash, with the highest value of 44.18 MPa achieved in the mix with 15% Zone 3 fly ash, surpassing the normal concrete (40.05 MPa). Conversely, the split tensile strength of the concrete decreased significantly across all fly ash variations. The modulus of elasticity increased with fly ash usage up to 10%, reaching a peak value of 31,176.27 MPa, but decreased at the 15% substitution level. In conclusion, the fineness and percentage of fly ash significantly influence the mechanical properties of SCC. Fly ash with higher fineness (Zone 3) and at specific percentages (10-15%) can enhance compressive strength and modulus of elasticity, although it reduces split tensile strength. The use of 10% Zone 3 fly ash provides the optimal results for improving the stiffness and compressive strength of SCC.

Keywords: Self Compacting Concrete (SCC), Fly Ash, Fineness, Compressive Strength, Split Tensile Strength, Modulus of Elasticity.

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kehalusan (fineness) dan persentase substitusi fly ash sebagai pengganti sebagian semen terhadap sifat mekanik beton Self Compacting Concrete (SCC). Fly ash dari PT. Pupuk Sriwidjaja diklasifikasikan ke dalam tiga zona kehalusan (Zona 1, 2, dan 3) dan digunakan sebagai substitusi semen dengan variasi persentase 5%, 10%, dan 15%. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental di laboratorium dengan pengujian kuat tekan (7, 14, 28 hari), kuat tarik belah (28 hari), dan modulus elastisitas (28 hari). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan fly ash meningkatkan workability beton segar, yang ditunjukkan oleh nilai slumpflow yang memenuhi spesifikasi EFNARC. Pada umur 28 hari, kuat tekan beton mengalami peningkatan seiring dengan penambahan persentase dan kehalusan fly ash, dengan nilai tertinggi sebesar 44,18 MPa pada campuran dengan 15% fly ash Zona 3, melampaui beton normal (40,05 MPa). Sebaliknya, kuat tarik belah beton mengalami penurunan secara signifikan pada semua variasi penambahan fly ash. Modulus elastisitas beton meningkat pada penggunaan fly ash hingga 10%, mencapai nilai tertinggi 31.176,27 MPa, namun menurun pada penggunaan 15%. Kesimpulan dari penelitian ini adalah kehalusan dan persentase fly ash berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik beton SCC. Fly ash dengan kehalusan lebih tinggi (Zona 3) dan persentase tertentu (10-15%) mampu meningkatkan kuat tekan dan modulus elastisitas, meskipun mengurangi kuat tarik belah. Penggunaan fly ash hingga 10% pada Zona 3 memberikan hasil optimal untuk meningkatkan kekakuan dan kekuatan tekan beton SCC.

Kata Kunci: Self Compacting Concrete (SCC), Fly Ash, Kehalusan (Fineness), Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Modulus Elastisitas.

A. Pendahuluan

Beton Self-Compacting Concrete (SCC) telah merevolusi industri konstruksi dengan kemampuannya yang dapat mengalir dan memadat sendiri tanpa memerlukan vibrasi, menghasilkan struktur yang padat, homogen, dan dengan permukaan akhir yang superior, terutama pada area yang kompleks dan padat tulangan (Alwesabi et al., 2021). Namun, produksi SCC membutuhkan jumlah pasta semen yang lebih tinggi dibandingkan beton konvensional, yang secara paradoks justru memperburuk dampak lingkungan dari industri semen. Produksi semen Portland dinilai sebagai penyumbang hingga 8% dari total emisi karbon dioksida (CO₂) global, menjadikan pencarian bahan alternatif yang berkelanjutan sebagai sebuah keharusan (Scrivener et al., 2023). Salah satu solusi yang paling menjanjikan adalah pemanfaatan material pozolanik seperti fly ash, sebuah limbah padat dari pembangkit listrik tenaga batu bara, sebagai pengganti sebagian semen (Sua-iam & Makul, 2020). Pendekatan ini tidak hanya mengurangi jejak karbon beton tetapi juga memberikan nilai tambah pada limbah industri, mendukung prinsip ekonomi sirkular dalam konstruksi (Thomas, 2023).

Penggunaan fly ash sebagai pengganti semen (binder substitution) pada SCC telah banyak dipelajari dan terbukti meningkatkan workability dan durabilitas jangka panjang berkat reaksi pozolaniknya dan efek bola mikro (micro-ball bearing) yang mengurangi gesekan internal (Khan et al., 2022). Namun, penerapannya pada semen Portland Composite Cement (PCC), yang sudah mengandung pozolan seperti fly ash atau trass dalam komposisinya, menimbulkan kompleksitas baru. Karakteristik fly ash sebagai bahan tambahan, seperti ukuran dan bentuk partikel, menjadi lebih krusial untuk dicermati (Nguyen et al., 2021). Tantangan utama adalah kecenderungan fly ash konvensional yang belum diolah memiliki partikel relatif kasar, yang dapat menurunkan laju reaksi pozolanik dini dan mempengaruhi stabilitas campuran SCC, berpotensi menyebabkan segregasi atau bleeding (Le, 2024).

Di sinilah karakteristik kehalusan (fineness) fly ash muncul sebagai faktor kritis yang belum sepenuhnya dieksplorasi, khususnya dalam sistem yang menggunakan semen PCC. Kehalusan partikel secara langsung mempengaruhi luas permukaan spesifik, yang menentukan kecepatan reaksi pozolanik dan efisiensi pengemasan (particle packing) dalam matriks pasta semen (Berenguer et al., 2020). Penelitian yang dilakukan oleh Firdaus, F., & Yunus, I. (2022) mengungkapkan bahwa kualitas kehalusan fly ash meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer. Penelitian tersebut menggunakan teknik filtrasi pada material pozolan abu terbang untuk mendapatkan tingkat kehalusan tertentu. Hasilnya mengkonfirmasi bahwa abu terbang yang lebih halus menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi. Penelitian terbaru oleh (Zhang et al., 2022) dan (Wang et al., 2023) menunjukkan bahwa penggilingan fly ash hingga tingkat kehalusan yang lebih tinggi secara signifikan dapat mempercepat perkembangan kekuatan tekan awal dan meningkatkan densitas mikrostruktur. Temuan ini selaras dengan penelitian (Barbhuiya & Das, 2024) yang menyatakan bahwa optimasi ukuran partikel pozolan adalah kunci untuk merancang beton berkinerja tinggi dan ramah lingkungan. Namun, studi komprehensif yang menyelidiki dampak sistematis dari variasi kehalusan fly ash terhadap sifat reologis (seperti slump flow, V-funnel, dan L-box) serta sifat mekanik SCC yang menggunakan semen PCC sebagai bahan pengikat utamanya masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini diusulkan untuk mengisi celah pengetahuan tersebut dengan menyelidiki pengaruh kehalusan fly ash terhadap sifat segar dan kuat tekan beton Self-Compacting Concrete (SCC) dengan substitusi semen PCC. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi praktis untuk formulasi SCC yang lebih optimal, berkelanjutan, dan ekonomis dengan memaksimalkan pemanfaatan limbah industri.

B. Metodologi Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan adalah, metode eksperimental yaitu, metode yang dilakukan dengan cara melaksanakan eksperimen terhadap objek penelitian, dan untuk pengujian dengan menggunakan metode destruktif yaitu dengan cara menghancurkan benda uji yang diteliti, lalu menganalisis data dari hasil pengujian.

Tabel 1. Variabel Penelitian

No	Kode Benda Uji	Zona Kehalusan Fly Ash	% Fly Ash	Jumlah Benda Uji	Umur Pengujian '	Jenis Pengujian
1	BN	-	0	9	7, 14, 28	Kuat Tekan
2	BN	-	0	3	28	Tarik Belah
3	BFA 1	Zona 1	5,10,15	27	7, 14, 28	Kuat Tekan
4	BFA 1	Zona 1	5,10,15	9	28	Tarik Belah
5	BFA 2	Zona 2	5,10,15	27	7, 14, 28	Kuat Tekan
6	BFA 2	Zona 2	5,10,15	9	28	Tarik Belah
7	BFA 3	Zona 3	5,10,15	27	7, 14, 28	Kuat Tekan
8	BFA 3	Zona 3	5,10,15	9	28	Tarik Belah
JUMLAH				121		

Penelitian ini di lakukan di Laboratorium Kampus C Universitas Bina Darma Palembang yang beralamat di Jl. Jenderal Ahmad Yani No.15, 9/10 Ulu, Kecamatan Seberang Ulu I, Kota Palembang, Sumatera Selatan 30116.

C. Pembahasan dan Analisa

Komposisi Campuran Beton (Mix Design)

Tabel 2. Mix Design

No	Variasi	Kegunaan					
		Fly Ash (Kg)	Semen PCC (Kg)	Pasir (Kg)	Kerikil (Kg)	Air (L)	Sp (L)
1	Normal	0	6,98	10,20	9,12	2,10	0,08
2	Zona 1	1,04	5,93	10,20	9,12	2,10	0,08
3	Zona 2	1,74	5,23	10,20	9,12	2,10	0,08
4	Zona 3	2,44	4,54	10,20	9,12	2,10	0,08

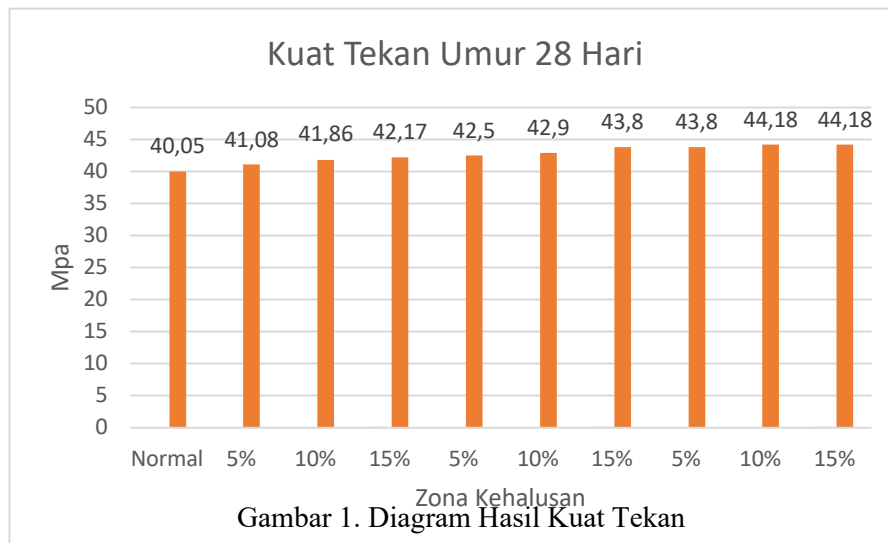
Pengujian Beton SCC

Berdasarkan spesifikasi EFNARC, diameter slumpflow yang disyaratkan pada rentang 550-650 mm Hasil tes beton SCC segar bisa dilihat pada tabel

Tabel 3. Hasil Slump

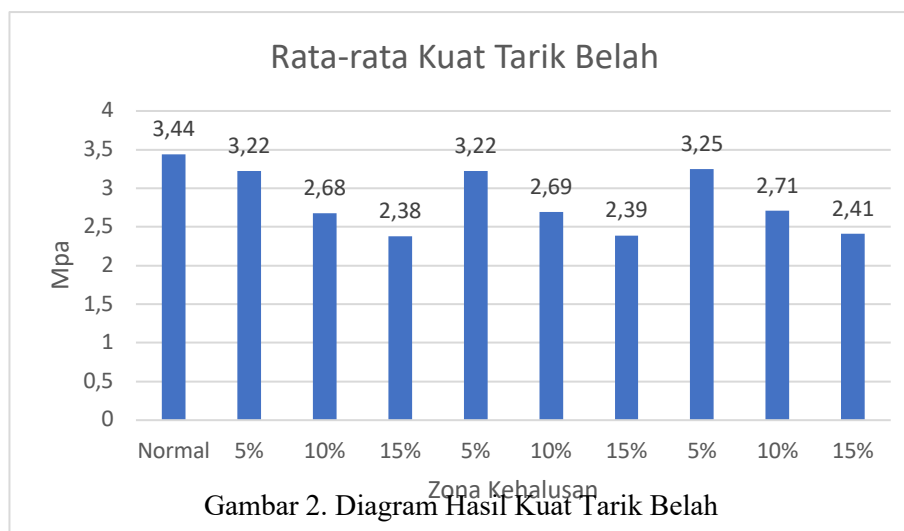
Variasi	Nilai Slumpflow (mm)	Spesifikasi EFNARC
BN	650	Memenuhi Syarat
BFA 1	670	Memenuhi Syarat
BFA 2	695	Memenuhi Syarat
BFA 3	710	Memenuhi Syarat

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton



Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari, diperoleh bahwa nilai kuat tekan beton mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase penambahan fly ash. Kuat tekan beton normal (BN) sebesar 40,05 MPa, sedangkan pada variasi 15% fly ash menunjukkan peningkatan hingga mencapai 42,17 MPa pada sampel BFA 1, 43,80 MPa pada BFA 2, dan 44,18 MPa pada BFA 3. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan fly ash hingga variasi 15% mampu memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan kuat tekan beton pada umur 28 hari. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penambahan fly ash berpotensi memperbaiki kinerja beton dalam jangka waktu pengerasan yang lebih panjang.

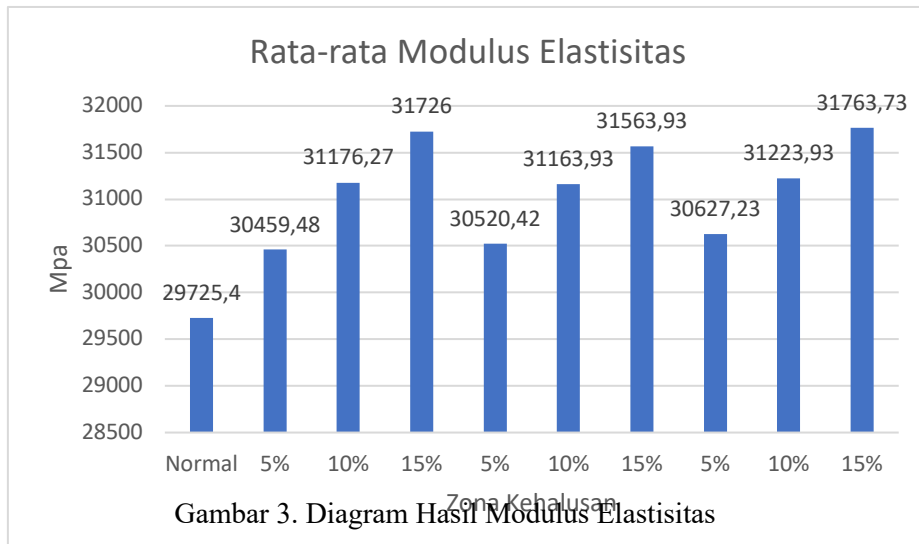
Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah



Hasil pengujian kuat tarik belah pada umur 28 hari menunjukkan bahwa penambahan fly ash berpengaruh terhadap penurunan nilai kuat tarik beton. Beton normal (0% fly ash) memperoleh kuat tarik rata-rata tertinggi sebesar 3,44 MPa, sementara variasi 5% fly ash sedikit menurun menjadi 3,22 MPa. Penurunan yang lebih signifikan terjadi pada variasi 10% dengan kuat tarik rata-rata 2,68 MPa, dan semakin menurun pada variasi 15% dengan nilai 2,38 MPa. Hal ini menegaskan bahwa semakin

tinggi proporsi fly ash, kemampuan beton dalam menahan gaya tarik belah cenderung berkurang. Fenomena tersebut disebabkan oleh berkurangnya jumlah semen Portland yang berperan utama dalam membentuk ikatan pasta, sementara reaksi pozzolanik fly ash berlangsung lebih lambat sehingga pada umur 28 hari kontribusinya belum mampu mengimbangi kebutuhan kekuatan tarik beton.

Hasil Pengujian Modulus Elastisitas



Gambar 3. Diagram Hasil Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas pada umur 28 hari menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan nilai seiring dengan penambahan fly ash dalam campuran beton. Beton normal (0% fly ash) menghasilkan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 29.725,40 MPa. Pada variasi 5% fly ash terjadi peningkatan menjadi 30.459,48 MPa, dan semakin meningkat pada variasi 10% dengan nilai rata-rata 31.176,27 MPa, yang merupakan hasil tertinggi dalam pengujian ini. Sementara itu, pada variasi 15% nilai modulus elastisitas mengalami penurunan dibandingkan variasi 10%, meskipun masih lebih tinggi dibandingkan beton normal. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan fly ash dalam jumlah moderat (5–10%) mampu meningkatkan kekakuan beton karena reaksi pozzolanik berkontribusi dalam pembentukan struktur pasta yang lebih rapat dan padat. Namun, pada kadar fly ash yang lebih tinggi (15%), jumlah semen yang berkurang membuat reaksi hidrasi awal tidak maksimal, sehingga peningkatan modulus elastisitas tidak lagi signifikan.

D. Penutup

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh penambahan fly ash terhadap kuat tekan beton, dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan beton mengalami peningkatan seiring bertambahnya umur, baik pada beton normal maupun beton dengan fly ash. Hal ini menunjukkan bahwa proses hidrasi semen dan reaksi pozzolanik fly ash berlangsung secara progresif selama periode perawatan. Pada umur 7 hari, penambahan fly ash 5% dan 10% menunjukkan peningkatan kuat tekan meskipun belum optimal, sementara pada umur 14 hari, kuat tekan beton dengan fly ash cenderung lebih rendah karena reaksi pozzolanik yang lebih lambat. Namun, pada umur 28 hari, variasi dengan 10% fly ash di zona 3 mencapai kuat tekan tertinggi sebesar 44,18 MPa, melampaui beton normal, yang menegaskan kontribusi signifikan fly ash pada umur lanjut.

Di sisi lain, hasil uji kuat tarik belah pada umur 28 hari menunjukkan bahwa penambahan fly ash justru menurunkan kuat tarik beton. Beton normal memiliki kuat tarik rata-rata 3,44 MPa, yang menurun menjadi 3,22 MPa pada variasi 5% fly ash, dan kembali turun menjadi 2,68 MPa pada variasi 10%. Hal ini menandakan bahwa semakin besar proporsi fly ash, kuat tarik belah beton cenderung menurun akibat reaksi pozzolanik yang belum sepenuhnya optimal untuk ketahanan tarik.

Sebaliknya, pengujian modulus elastisitas pada umur 28 hari memperlihatkan peningkatan seiring penambahan fly ash. Beton normal memiliki modulus elastisitas rata-rata 29.725,40 MPa, yang meningkat menjadi 30.459,48 MPa pada variasi 5% fly ash, dan mencapai 31.176,27 MPa pada variasi 10%. Peningkatan ini mengindikasikan peran fly ash dalam memperbaiki struktur mikro beton melalui reaksi pozzolanik, sehingga meningkatkan kekakuan beton. Kandungan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) pada fly ash bereaksi dengan kalsium hidroksida [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H) tambahan yang menjadi komponen utama pemberi kekuatan, sekaligus memperbaiki mikrostruktur melalui efek pengisian pori.

Daftar Pustaka

- Alwesabi, E. A., Bakar, B. H. A., Alshaikh, I. M. H., & Akil, H. M. (2021). Experimental investigation on fracture characteristics of plain and rubberized concrete containing hybrid steel-polypropylene fiber. *Structures*, 33, 3321–3330. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.06.073>
- Barbhuiya, S., & Das, B. B. (2024). The role of particle size distribution on the properties of cement-based materials: A review. *Construction and Building Materials*, 411, 134377. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134377>
- Berenguer, R. A., Lima, M. G. B., de Medeiros, M. H. F., & Lima, M. G. B. (2020). The influence of fly ash fineness on the mechanical properties of concrete. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 13(3). <https://doi.org/10.1590/S1983-41952020000300008>
- Firdaus, F., & Yunus, I. (2022). THE COMPRESSIVE STRENGTH OF GEOPOLYMER CONCRETE BASED ON THE FINENESS LEVEL OF FLY ASH. Eprints Binadarma Academic Repository.
- Khan, M. I., Sutanto, M. H., & Iqbal, M. (2022). A comprehensive review on the properties of sustainable concrete containing volcanic pumice powder and fly ash. *Journal of Cleaner Production*, 372, 133702. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133702>
- Le, H. V. (2024). The influence of high-volume fly ash on the rheological properties of self-compacting concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 20, e02752. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02752>
- Nguyen, H. A., Chang, T. P., & Shih, J. Y. (2021). Efficiency of Portland-composite cement and fly ash in sustainable concrete. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 3926–3937. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.10.016>
- Scrivener, K., Martirena, F., Bishnoi, S., & Maity, S. (2023). Calcined clays for sustainable concrete. *Cement and Concrete Research*, 173, 107268. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107268>
- Sua-iam, G., & Makul, N. (2020). Utilization of high volumes of unprocessed lignite-coal fly ash and rice husk ash in self-consolidating concrete. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120220. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120220>
- Thomas, M. (2023). *Green concrete with high-volume fly ash and slag*. Woodhead Publishing. <https://shop.elsevier.com/books/green-concrete-with-high-volume-fly-ash-and-slag/thomas/978-0-323-95167-8>
- Wang, L., Jin, M., Wu, Y., & Zhou, S. (2023). Hydration and mechanical properties of cement mortar blended with ultra-fine fly ash. *Construction and Building Materials*, 409, 133877. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133877>
- Zhang, W., Zhang, Y., & Liu, S. (2022). Effect of ultrafine fly ash on the properties of sustainable self-compacting concrete. *Structures*, 45, 1222–1232. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.09.076>