



Pengaruh Substitusi *Fly Ash* pada Semen dengan Tambahan Limbah *Polyethylene Terephthalate (PET)* terhadap Sifat Beton *Self Compacting Concrete (SCC)*

Bambang Ari Suseno¹, Fakh Thorik Alfiansyah^{2*}

¹⁻² Universitas Islam Sultan Agung Semarang, Indonesia

*Penulis Korespondensi: fakh12thorik@gmail.com²

Abstract. *Self-Compacting Concrete (SCC) requires a high cement content, which contributes to increased carbon emissions; therefore, this study evaluates the effect of partial cement substitution with fly ash (5%, 10%, and 15%) and the addition of Polyethylene Terephthalate (PET) waste (0.5% and 0.7%) on the mechanical properties of SCC with a target strength of $f'c$ 30 MPa. The research employed laboratory experimental methods, including fresh concrete tests (slump flow, L-box, and V-funnel) and hardened concrete tests (compressive, tensile, and flexural strength) at 7 and 28 days. The results indicate that fly ash substitution enhances compressive strength, with the highest value of 49.59 MPa achieved at 5% fly ash at 28 days, exceeding normal concrete (34.73 MPa). The addition of PET tends to reduce compressive strength due to increased porosity; however, it significantly improves flexural strength, as the combination of 5% fly ash and 0.5% PET achieved 4.7 MPa compared to 2.9 MPa for normal concrete. Overall, the combination of fly ash and PET waste shows potential for application in structural elements requiring high flexural performance.*

Keywords: *Cement Substitution; Fly Ash; PET Waste; Self-Compacting Concrete; Workability.*

Abstrak. Self Compacting Concrete (SCC) memerlukan kadar semen tinggi yang berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon, sehingga penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh substitusi semen dengan fly ash (5%, 10%, dan 15%) serta penambahan limbah Polyethylene Terephthalate (PET) (0,5% dan 0,7%) terhadap sifat mekanik SCC mutu rencana $f'c$ 30 MPa. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan pengujian beton segar (slump flow, L-box, dan V-funnel) serta beton keras (kuat tekan, tarik, dan lentur) pada umur 7 dan 28 hari. Hasil menunjukkan bahwa substitusi fly ash meningkatkan kuat tekan, dengan nilai tertinggi 49,59 MPa pada variasi 5% umur 28 hari, melampaui beton normal sebesar 34,73 MPa. Penambahan PET cenderung menurunkan kuat tekan akibat meningkatnya porositas, namun mampu meningkatkan kuat lentur secara signifikan, di mana kombinasi fly ash 5% dan PET 0,5% menghasilkan kuat lentur 4,7 MPa dibanding beton normal 2,9 MPa. Secara keseluruhan, kombinasi fly ash dan limbah PET berpotensi diterapkan pada elemen struktur yang memerlukan ketahanan lentur tinggi. Kata kunci: beton, zat adiktif sika fume, kuat tekan.

Kata kunci: Abu Terbang; Beton Pematatan Mandiri; Kemudahan Pengerjaan; Limbah PET; Penggantian Semen.

1. LATAR BELAKANG

Teknologi beton terus berkembang dan mengalami kemajuan yang signifikan sejalan dengan bertambahnya kebutuhan akan material konstruksi yang berkualitas tinggi dan dapat diandalkan untuk berbagai keperluan pembangunan, efisiensi kerja, serta ramah lingkungan. Salah satu inovasi yang muncul dalam bidang teknologi beton adalah Self Compacting Concrete (SCC) biasa disebut beton memadat sendiri, yaitu jenis beton yang mampu mengalir dan mengisi cetakan dengan tidak memerlukan getaran mekanis selama proses pematatan. Untuk menangani masalah mutu pekerjaan beton akibat keterbatasan tenaga kerja terampil, Jepang mulai mengembangkan jenis beton ini pada tahun 1980-an. (Okamura & Ouchi, 2003).

SCC dirancang dengan workability yang sangat baik sehingga mampu mengisi seluruh rongga dan menutupi tulangan tanpa terjadi segregasi atau bleeding. Hal ini dicapai dengan

mengoptimalkan komposisi material halus, penggunaan superplasticizer, serta bahan tambahan mineral antar lain seperti fly ash, silica fume, atau slag (EFNARC, 2002). Penggunaan beton Self Compacting Concrete (SCC) memberikan berbagai keuntungan seperti: (1) Mempersingkat waktu konstruksi, (2) penggunaan vibrator dapat ditiadakan, (3) dapat mengurangi kebisingan yang terjadi akibat Pembangunan, (4) Meningkatkan kerapatan beton pada sisi yang kompleks atau sulit dijangkau, (5) Meningkatkan beton secara keseluruhan. Penggunaan beton Self Compacting Concrete (SCC) ini lazim digunakan pada struktur yang sulit dijangkau (Dehn & Holschemacher, 2000).

Dalam konteks industri konstruksi di Indonesia, penerapan Self-Compacting Concrete (SCC) memiliki potensi besar, terutama pada struktur dengan penulangan rapat seperti kolom, balok, atau elemen pracetak. SCC dapat mengalir dengan baik dan mengisi bekisting tanpa memerlukan pemadatan mekanik, bahkan di sekitar tulangan yang sangat rapat. Hal ini memungkinkan pengurangan risiko segregasi dan meningkatkan workability pada elemen-elemen struktural yang sulit dipadatkan (Plando & Maquiling, 2024). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penggunaan SCC pada struktur bertulang rapat, seperti kolom dan balok, memberikan keunggulan dalam kompaksi dan mengurangi masalah honeycombing, yang sering terjadi pada pengecoran beton konvensional. SCC juga meningkatkan kualitas dan kecepatan konstruksi, menjadikannya solusi yang lebih efisien untuk aplikasi beton pada elemen dengan penulangan rapat (Li et al., 2025). Selain itu, SCC juga mendukung konsep pembangunan berkelanjutan (sustainable construction). Konsep ini memanfaatkan bahan limbah industri, seperti fly ash sebagai pengganti sebagian semen. Penggunaan bahan tersebut tidak hanya mengurangi emisi karbon dari produksi semen, melainkan juga dapat meningkatkan durabilitas dan kinerja beton (Mehta & Monteiro, 2014).

Tantangan utama dalam penggunaan SCC terletak pada penentuan proporsi campuran yang tepat agar tetap tercapai keseimbangan antara kekuatan tekan, viskositas, dan stabilitas campuran. Penelitian mengenai beton SCC menjadi penting untuk dilakukan, terutama dalam konteks pencarian material alternatif yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan, sekaligus memastikan kualitas serta daya tahan struktur beton di berbagai kondisi. Penggunaan beton konvensional yang sangat bergantung pada semen dalam jumlah besar secara tidak langsung menyumbang peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂) sehingga berdampak pada lingkungan, mengingat industri semen termasuk salah satu penyokong emisi gas rumah kaca paling besar dalam skala global. Pengembangan beton ramah lingkungan (green concrete) menjadi sangat penting, salah satunya melalui pemanfaatan bahan limbah seperti fly ash sebagai substitusi sebagian semen dan limbah plastik PET sebagai bahan tambahan. Pendekatan ini tidak hanya

bertujuan meningkatkan kinerja beton, tetapi juga mendukung konsep pembangunan berkelanjutan (*sustainable construction*) dengan mengurangi dampak lingkungan.

Penelitian ini berfokus pada pengembangan beton *Self Compacting Concrete* (SCC) dengan ditambahkan bahan alternatif sebagian semen seperti fly ash dan bahan tambahan PET untuk meningkatkan kinerja beton, efisiensi pelaksanaan, serta mendukung upaya pelestarian lingkungan dalam bidang teknik sipil dengan target pekerjaan seperti balok, pelat lantai, jembatan dan balok kantilever.

2. KAJIAN TEORITIS

Pengertian Beton

Beton adalah salah satu material konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia sebagai material struktural utama. Beton modern merupakan campuran homogen antara semen sebagai bahan pengikat, agregat (kasar dan halus), air, dan berbagai aditif untuk mencapai sifat kerja dan mekanik yang diinginkan. Beton yang telah dicampur dan ditempatkan mengalami reaksi hidrasi antara semen dan air, yang menyebabkan campuran tersebut mengeras menjadi massa padat dengan kekuatan, daya tahan, dan ketahanan terhadap lingkungan tertentu. Beton kontemporer tidak hanya dituntut untuk kuat tekan tinggi tetapi juga memiliki *workability*, ketangguhan retak (*fracture toughness*), dan durabilitas kimia yang baik dalam berbagai aplikasi teknik sipil. (Smarzewski dan Stolarski, 2022)

Semen

Semen merupakan bahan pengikat hidraulis (*hydraulic binder*) yang berperan sebagai komponen utama dalam pembuatan beton, karena dapat bereaksi dengan air membentuk pasta yang mengeras dan merekatkan agregat halus dan kasar menjadi satu kesatuan massa padat. Semen tersusun dari klinker yang mengandung kalsium silikat hidrolik serta bahan tambahan seperti gypsum, sehingga bila dicampur dengan air mengalami reaksi hidrasi yang menghasilkan zat-zat perekat yang memiliki kekuatan dan adhesi tinggi pada agregat beton. Sifat hidraulisnya inilah yang memungkinkan semen bekerja efektif sebagai bahan pengikat dalam beton, bukan hanya di udara tetapi juga dalam kondisi basah. (T Ode, 2024)

Air

Air dalam beton berfungsi sebagai pemicu reaksi hidrasi semen sehingga beton dapat mengeras dan memperoleh kekuatan, sekaligus memberikan kemudahan pengerjaan (*workability*) saat pencampuran dan pengecoran. Jumlah air harus dikontrol melalui rasio air-semen (*w/c ratio*), karena kelebihan air meningkatkan porositas dan menurunkan kuat tekan

serta durabilitas, sedangkan kekurangan air menghambat hidrasi dan menyulitkan pengerjaan. Air yang digunakan harus bersih dan bebas zat berbahaya agar tidak mengganggu mutu beton.

Tetapi seiring dengan semakin mudahnya pengerjaan, maka akan menyebabkan beton menjadi porous atau terdapat banyak rongga, maka kuat tekan beton itu sendiri akan menurun (Sutrisno & Widodo, 2017).

Agregat

Agregat merupakan material yang ditambahkan ke dalam pasta semen dalam proses pembuatan beton untuk mengurangi pemakaian semen. Hal ini dilakukan karena agregat lebih murah dibandingkan dengan semen serta penambahan agregat akan membentuk beton dengan volume yang lebih stabil dan durabilitas yang lebih baik (M.W. Tjaronge et al., 2003).

Fly Ash

Fly ash adalah limbah padat hasil pembakaran batu bara di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang memiliki kandungan silika dan alumina sehingga bersifat *pozzolanic*, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dari proses hidrasi semen dan membentuk senyawa perekat tambahan yang meningkatkan densitas dan kekuatan beton.

fly ash dijelaskan sebagai produk samping pembakaran batubara yang jika digunakan dalam beton dapat mengurangi penggunaan semen, meningkatkan kemampuan workability, serta meningkatkan kekuatan dan ketahanan durabilitas beton, meskipun awalnya menurunkan kekuatan pada usia dini karena reaksi hidrasi yang lebih lambat dibanding semen murni. (Zhiyin Zhang, 2023)

Polyethylene Terephthalate (PET)

Polyethylene Terephthalate (PET) adalah jenis plastik yang umum digunakan untuk botol minuman sekali pakai dan termasuk jenis material yang sulit terurai secara alami sehingga menjadi beban lingkungan. Beberapa penelitian dalam konteks teknologi beton menunjukkan bahwa limbah PET dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan atau substitusi agregat dalam campuran beton, meskipun karakteristiknya berbeda dengan agregat alam.

limbah PET dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam beton dan diuji pengaruhnya terhadap kuat tekan beton, menunjukkan aplikasi PET sebagai alternatif bahan dalam campuran beton sebagai upaya *greener concrete*. (Zahwa Azizulita Aroha, Dkk, 2024)



Gambar 1. Botol plastik jenis PET.



Gambar 2. Botol plastik pet yang sudah dicacah ukuran 1-3mm dan panjang 5cm.

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental. Penelitian dimulai setelah mendapatkan persetujuan dari Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan kemudian melakukan studi literatur, seperti mencari jurnal referensi, kandungan dalam bahan tambah yang digunakan, dan metode yang digunakan dalam melakukan penelitian. Tahapan awal penelitian yang dilakukan di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Universitas Universitas Islam Sultan Agung Semarang adalah pengambilan data sekunder pengujian bahan dasar agregat dan melakukan pengujian bahan dasar agregat yang akan digunakan pada percobaan campuran beton. Sebagai acuan dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak terlepas dari data-data pendukung. Data pendukung diperoleh dari:

Data Primer

Data yang diperoleh dari hasil penelitian di Laboratorium, yaitu:

- a. Uji Kadar lumpur, Air, dan analisa saringan agregat.
- b. Berat jenis dan penyerapan.
- c. Pemeriksaan berat isi agregat.

- d. Pemeriksaan kadar air agregat.
- e. Perbandingan dalam campuran beton (Mix design).
- f. Kekentalan adukan beton segar (Slump test).
- g. Uji kuat tekan beton
- h. Uji kuat tarik belah beton
- i. Uji kuat lentur beton

Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari beberapa buku yang berhubungan dengan teknik beton (literatur) dan konsultasi langsung dengan dosen pembimbing di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Data teknis mengenai Standar Nasional Indonesia. Data teknis mengenai SNI-03- 2834-2000, serta buku-buku atau literatur sebagai penunjang guna memperkuat suatu penelitian yang dilakukan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam hal ini penulis akan menganalisis data-data yang telah diperoleh saat penelitian berlangsung sehingga didapat campuran beton yang diinginkan. Setelah melakukan pengujian dasar maka nilai-nilai diatas tersebut dapat digunakan untuk perencanaan campuran beton (*Mix Design*) dengan kuat tekan disyaratkan sebesar 30 MPa berdasarkan SNI 03-2834-2000, dari hasil perencanaan beton diatas didapat perbandingan campuran akhir untuk setiap m³ adalah:

Tabel 1. Hasil perbandingan campuran bahan beton tiap 1 benda uji dalam 1 m³.

Material	Semen	Pasir	Batu pecah	Air
Berat (kg)	488	733	896	225
Perbandingan	1	1,5	1,83	0,46

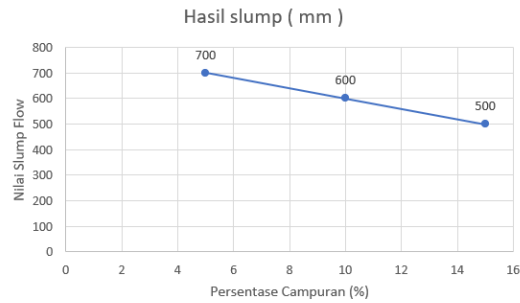
Perbandingan untuk 1 benda uji dalam satuan kg adalah:

Tabel 2. Perbandingan bahan beton untuk 1 benda uji (kg).

Material	Semen	Pasir	Batu pecah	Air
Berat (kg)	2,58	3,8	4,7	1,1

Tabel 3. Hasil pengujian nilai *slump*.

No	Variasi	Tinggi Slump
1	Beton dengan campuran Fly Ash 5%	700 mm
2	Beton dengan campuran Fly Ash 5%	600 mm
3	Beton dengan campuran Fly Ash 15%	500 mm



Gambar 3. Grafik Perbandingan Fly Ash.

Berdasarkan Tabel 3 menjelaskan perbandingan nilai *slump*, beton dengan campuran *Fly Ash* 5%, beton dengan campuran *Fly Ash* 10%, dan *Fly Ash* 15%. Dari hasil pengujian slump test diperoleh grafik sebagai berikut. Grafik tersebut menunjukkan adanya penurunan hasil slump flow dari hasil awal 700 mm dengan *Fly Ash* 5% kemudian dengan ditambahkan *Fly Ash* sebesar 10% slump test mengalami penurunan sebesar 100 mm. Dan hasil slump test dengan penambahan *Fly Ash* 15% mengalami penurunan sebesar 100 mm dari hasil uji slump flow *Fly Ash* 10%.



Gambar 4. Pengujian Kuat Tekan Beton.

Tabel 4. Hasil pengujian kuat tekan beton normal.

Benda Uji	Gaya (KN)	Faktor Silinder Fct/ 0,83	
		(MPa)	f'c rata- rata (MPa)
Umur 28 hari			
1	613,83	34,73	29,98
2	574,81	32,51	
3	515,70	29,18	
4	402,36	23,5	

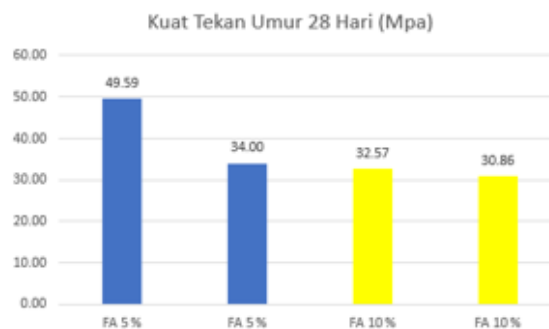
Tabel 5. Hasil pengujian kuat tekan beton.

Benda Uji	Beban (kN)	Faktor Silinder Fct / 0,83 (MPa)	f'c Rata-rata (MPa) Umur 28 Hari
1	876,29	49,59	41,79
2	601,14	34,00	—

Dari kedua tabel perendaman beton diatas dapat disimpulkan beton yang direndam di air tawar kuat tekannya lebih baik daripada beton yang direndam pada air laut, hal itu terjadi karena beton yang direndam dalam air laut mengalami serangan sulfat dari air laut yang menyebabkan beton menjadi terkikis dan membuat beton menjadi rapuh.

Tabel 6. Hasil pengujian kuat tekan beton dengan campuran Fly Ash 10%.

Benda Uji	Gaya (kN)	Faktor Silinder $F_{ct} / 0,83$ (MPa)	$f'c$ Rata-rata (MPa)
1	577,86	32,57	31,71
2	546,57	30,84	—



Gambar 5. Grafik Perbandingan Fly Ash 5% dan 10%.

Tabel 7. Hasil pengujian kuat tekan beton dengan campuran Fly Ash 15% dengan Campuran Fly Ash 5%.

Benda Uji	Gaya (KN)	Faktor Silinder $F_{ct} / 0,83$ (MPa)	$f'c$ rata- rata (MPa)
Umur 28 hari			
1	412,13	23,31	24,51
2	454,57	25,71	

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian kuat tekan beton Self Compacting Concrete (SCC) menunjukkan bahwa substitusi fly ash sebesar 5% (variasi B2) memberikan kenaikan kuat tekan 42% dari beton normal, nilai tertinggi pada umur 28 hari yaitu 49,59 MPa dibandingkan beton normal yang sebesar 34,73 MPa, namun kekuatantersebut cenderung menurun secara signifikan pada penggunaan fly ash yang lebih tinggi (10% dan 15%).

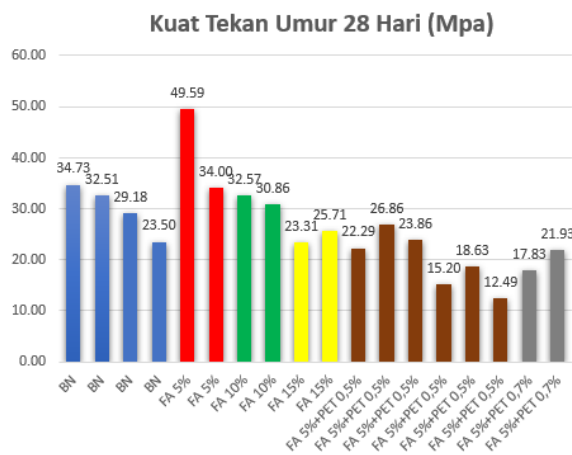
Tabel 8. Hasil pengujian kuat tekan beton dengan campuran Fly aAsh 5% + PET 0,5%.

Benda Uji	Gaya (KN)	Faktor Silinder $F_{ct} / 0,83$ (MPa)	$f'c$ rata- rata (MPa)
Umur 28 hari			
1	394,44	22,29	
2	476,67	26,86	22,91
3	424,71	23,86	
4	324,80	18,63	

Tabel 9. Hasil pengujian kuat tekan beton dengan campuran Fly aAsh 5% + PET 0,5%

Benda Uji	Gaya (KN)	Faktor Silinder Fct/ 0,83 (MPa)	f ^c rata- rata (MPa)
Umur 28 hari			
1	315,13	17,83	19,88
2	387,63	21,93	

Pada campuran yang mengandung limbah PET (variasi B5 dengan 5% fly ash + 0,5% PET) yang hanya mencapai 21,93 MPa. Grafik kuat tekan menggambarkan tren penurunan kemampuan tekan seiring bertambahnya persentase limbah plastik PET karena sifatnya yang non-reaktif dan non-absorben terhadap semen, meskipun penambahan fly ash dalam jumlah kecil (5%) terbukti efektif sebagai filler untuk meningkatkan kepadatan awal beton. Secara keseluruhan, meskipun penambahan PET dan fly ash berlebih menurunkan kuat tekan murni, campuran tersebut masih memenuhi kriteria beton ramah lingkungan dengan target mutu rencana yang telah ditetapkan pada umur 28 hari.



Gambar 6. Grafik Perbandingan persentase nilai kuat tekan beton umur 28 hari dengan campuran Fly Ash dan PET.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan bahan tambah Fly Ash pada beton SCC memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik dan workability beton. Secara umum, penambahan Fly Ash menunjukkan pengaruh positif terhadap kuat tekan beton dibandingkan beton normal, meskipun peningkatan tersebut tidak selalu bersifat linier pada setiap variasi campuran. Nilai kuat tekan beton SCC dengan variasi Fly Ash menunjukkan bahwa campuran Fly Ash 5% menghasilkan kuat tekan sebesar 41,79 MPa, Fly Ash 10% sebesar 31,71 MPa, dan Fly Ash 15% sebesar 24,51 MPa.

Sementara itu, penambahan kombinasi Fly Ash 15% dengan PET 0,5% menghasilkan kuat tekan sebesar 22,91 MPa dan pada variasi lainnya sebesar 24,51 MPa.

Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan PET cenderung menurunkan kuat tekan beton dibandingkan campuran tanpa PET. Selain mempengaruhi kuat tekan, penambahan Fly Ash juga berpengaruh terhadap nilai slump beton SCC. Semakin besar persentase Fly Ash yang digunakan, maka nilai slump beton cenderung menurun, yang menunjukkan berkurangnya tingkat kelecakan campuran. Beton dengan Fly Ash 5% memiliki nilai slump sebesar 700 mm, Fly Ash 10% sebesar 600 mm, dan Fly Ash 15% sebesar 500 mm. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa Fly Ash meningkatkan kinerja beton dari sisi kekuatan tekan, namun pada saat yang sama menurunkan nilai slump sehingga perlu penyesuaian desain campuran agar tetap memenuhi kriteria SCC. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa nilai kuat tekan optimum diperoleh pada umur beton 28 hari dengan perawatan menggunakan rendaman air tawar, yaitu mencapai nilai rata-rata sebesar 41,79 MPa. Temuan ini menegaskan bahwa umur beton dan metode curing memiliki peranan penting dalam mencapai kekuatan beton yang maksimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Universitas Islam Sultan Agung Semarang, dan Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, atas penggunaan Laboratorium Beton untuk mendukung penelitian ini. Bapak Dr. Abdul Rochim ST., MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang, Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil.

DAFTAR REFERENSI

- Alfirahman, R., & Widodo, S. (2023). Efek penambahan serat limbah botol polyethylene terephthalate (PET) dan fly ash terhadap hasil uji ultrasonic pulse velocity pada self compacting concrete. *Teras Jurnal*. <https://doi.org/10.29103/tj.v13i1.795>
- Almufid. (2015). Beton mutu tinggi dengan bahan tambahan. *Jurnal Fondasi*, 4(2), 81–87. <https://doi.org/10.36055/jft.v4i2.1239>
- Amelia Faradila, I., Noviyanthi, & Larasati, D. (2021). Perilaku kuat tekan beton normal terhadap penambahan serat botol plastik jenis PET. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(2), 142–153. <https://doi.org/10.26760/rekaracana>
- Andari, E. (2015). Pemanfaatan fly ash sebagai pengganti semen parsial untuk meningkatkan performa beton agregat daur ulang. *Rekayasa Sipil*, 9(3).
- Arifi, E. (2015). Pemanfaatan fly ash sebagai pengganti semen parsial untuk meningkatkan performa beton agregat daur ulang. *Rekayasa Sipil*, 9(3).

- Dehn, F., & Holschemacher, K. (2000). DirkWeiße. <https://www.researchgate.net/publication/280867183>
- Jaelani, B., Adji, D., & Abriantoro, P. (2024). Studi eksperimental substitusi fly ash 30%, 35%, dan 40% pada beton SCC terhadap waktu ikat, flowability, porositas, dan kuat tekan beton dalam resistensi asam sulfat. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 10(2). <https://doi.org/10.31943/jri.v10i2.278>
- Jaelani, B., Adji, D., & Abriantoro, P. (2024). Studi eksperimental substitusi fly ash 30%, 35%, dan 40% pada beton SCC terhadap waktu ikat, flowability, porositas, dan kuat tekan beton dalam resistensi asam sulfat. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 10(2). <https://doi.org/10.31943/jri.v10i2.278>
- Li, J., Wang, H., Han, B., & Cai, C. (2025). Research on construction technology of self-compacting composite columns with steel-reinforced concrete based on super-slender steel tube members. In *Proceedings of the 6th International Conference on Urban Construction and Management Engineering* (pp. 115–125). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-847-9_13
- Nehemia Situmorang, R., & Saelan, P. (2021). Aplikasi modified method SNI 03-2834-2000 pada campuran self compacting concrete. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), 142–153. <https://doi.org/10.26760/rekaracana>
- Plando, F. R. P., & Maquiling, J. T. (2024). Construction potential of rice husk ash as eco-friendly cementitious material in a low-water demand for self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 418, 135407. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135407>
- Rusyandi, K., Mukodas, J., & Gunawan, Y. (2012). Perancangan beton self compacting concrete (beton memadat sendiri) dengan penambahan fly ash dan structuro. *Jurnal Konstruksi*, 10(1), 35–45. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.10-01.35>
- Setiawati, M. (2018). Fly ash sebagai bahan pengganti semen pada beton. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2018*, 17, 1–8.
- Sugiharto, H., & Kusuma, G. H. (2001). Penggunaan fly ash dan viscocrete pada self compacting concrete. *Dimensi Teknik Bahan*.
- Takalamingan, V., Lopian, M., & Kaawoan, J. (2018). Efektivitas penerapan disiplin aparatur pemerintah dalam meningkatkan pelayanan publik. *Jurnal Eksekutif*, 1(1), 277–282.
- Wahyono, H. L., Pengajar, S., Teknik, J., Politeknik, S., & Semarang, N. (2012). Pengaruh penambahan fly ash dan bottom ash pada pembuatan beton mutu f'c 20 Mpa dalam. 2006.