

Perbandingan Penggunaan *Fly Ash* Dengan Kalsium Karbonat Sebagai Bahan Tambah Semen

Comparison of the Utilization of Fly Ash with Calcium Carbonate as Supplementary Cementitious Materials

Arusmalem Ginting¹, Bing Santosa², Imam Syarif Hidayatullo³, Resqi Prananda⁴

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Jl. Tentara Rakyat Mataram 55-57 Yogyakarta, Telp. 561039, 517251. Email: aginting@janabadra.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Jl. Tentara Rakyat Mataram 55-57 Yogyakarta, Telp. 561039, 517251. Email: bing@janabadra.ac.id

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Jl. Tentara Rakyat Mataram 55-57 Yogyakarta, Telp. 561039, 517251. Email: syarifimam75@gmail.com

⁴Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Jl. Tentara Rakyat Mataram 55-57 Yogyakarta, Telp. 561039, 517251. Email: resqinanda@gmail.com

Abstrak

Bahan tambah semen yang sering digunakan diantaranya adalah *fly ash* dan kalsium karbonat. Berdasarkan hal tersebut maka perlu diteliti perbandingan penggunaan *fly ash* dengan kalsium karbonat sebagai bahan tambah semen. Penambahan semen dengan *fly ash* dan kalsium karbonat sebesar 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen. Setiap variasi terdiri dari 2 buah benda uji silinder beton, dan total benda uji 18 buah. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian nilai *slump* dan kuat tekan. Dari hasil penelitian didapat: *fly ash* yang dipakai tergolong pozzolan kelas C, sedangkan kalsium karbonat tidak termasuk pozzolan. Penambahan semen dengan *fly ash* dan juga kalsium karbonat 5% sampai 20% meningkatkan nilai *slump*. Penambahan semen dengan *fly ash* menghasilkan nilai *slump* yang lebih rendah dari penambahan kalsium karbonat 10% sampai 20%, dan lebih tinggi pada 5%. Kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* lebih tinggi dan kalsium karbonat lebih rendah dari beton normal sampai penambahan semen 20%. Kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* lebih tinggi dari penambahan kalsium karbonat sampai 20%.

Kata Kunci: Bahan tambah semen; *Fly ash*; Kalsium karbonat; Kuat tekan; Nilai *slump*

Abstract

Commonly used supplementary cementitious materials include fly ash and calcium carbonate. Based on this, necessary to study the comparison of the use fly ash with calcium carbonate as supplementary cementitious materials. The addition of cement with fly ash and calcium carbonate is 5%, 10%, 15% and 20% of the weight of the cement. Each variation consists of 2 concrete cylinder specimens, and a total of 18 specimens. The tests carried out were slump value and compressive strength tests. The results of the study showed that the fly ash used is classified as class C pozzolan, while calcium carbonate is not included in pozzolan. The addition of cement with fly ash and also calcium carbonate 5% to 20% increases the slump value. The addition of cement with fly ash produces a lower slump value than the addition of 10% to 20% calcium carbonate, and higher at 5%. The compressive strength of concrete with the addition of cement with fly ash is higher and calcium carbonate is lower compared to normal concrete up to an addition of 20%. The compressive strength of concrete with the addition of cement with fly ash is higher than the addition of calcium carbonate up to 20%.

Keywords: Calcium carbonate; Compressive strength; Fly ash; Supplementary cementitious materials; Slump value

PENDAHULUAN

Bahan tambah semen atau *Supplementary Cementitious Materials* (SCM) ditambahkan ke campuran beton dengan berbagai tujuan seperti: meningkatkan daya tahan, mengurangi permeabilitas, mengurangi reaktivitas alkali, dan meningkatkan sifat beton melalui aktivitas hidraulik atau pozolan atau keduanya. SCM ditambahkan ke beton sebagai bahan tambah atau sebagai substitusi parsial semen atau semen campuran (*blended cements*). SCM yang sering digunakan diantaranya adalah *fly ash* dan kalsium karbonat. *Fly ash* merupakan SCM yang paling banyak digunakan dalam beton dan merupakan produk sampingan dari pembakaran batu bara di pembangkit listrik. Kalsium karbonat adalah bahan pengisi berupa kapur yang dapat membantu mempercepat hidrasi semen, kekuatan awal tinggi, dan meningkatkan ketahanan beton (EUCD, n.d.). Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian perbandingan penggunaan *fly ash* dengan kalsium karbonat sebagai bahan tambah semen.

Penambahan *fly ash* pada umumnya meningkatkan sifat beton. Penggunaan *fly ash* meningkatkan *workability*, mengurangi *bleeding*, dan membuat beton tahan lama (*durable*) (Marthong dan Agrawal, 2012). Penambahan *fly ash* meningkatkan kepadatan pasta pengikat melalui reaksi pozolan (Saha, 2018).

Kuat tekan beton dan *workability* meningkat pada penambahan *fly ash* dari 2% sampai 20%. Penyerapan air paling rendah terjadi pada penambahan *fly ash* 13% (Adinna dkk., 2023). Penggunaan *fly ash* sampai 20% berpengaruh positif pada karakteristik material dan penggunaan yang melebihi 20% dapat menurunkan kinerja komposit. *Fly ash* dapat menurunkan kekuatan awal tetapi dapat diatasi dengan aktivasi kimia dan penambahan nanomaterial. *Fly ash* dapat meningkatkan keawetan dan sifat-sifat mekanik beton jangka panjang (Li dkk., 2022).

Fly ash dapat meningkatkan sifat mekanik dan fisik beton jika digunakan sebagai bahan substitusi semen dosis optimumnya adalah 10% (Muñoz-Pérez dkk., 2024). Penggunaan *fly ash* mengakibatkan peningkatan *workability* (Hygrive dkk., 2017). Kuat tekan beton yang menggunakan *fly ash* sebagai substitusi semen sebesar 20%, 25%, dan 30% lebih rendah dari kuat tekan beton normal. Semakin besar persentase *fly ash* mengakibatkan kuat tekan beton semakin menurun. Penggunaan *fly ash* sebesar 20% menghasilkan kuat tekan yang terbaik. Penggunaan *fly ash* yang tepat sebagai bahan tambah berkisar antara 20%-30% (Pangestuti dkk., 2018). Penggantian semen dengan *fly ash* optimum sebesar

20%. Penggunaan *fly ash* dapat meningkatkan *workability* dan kuat tekan beton (Das dan Reza, 2019).

Penggunaan kalsium karbonat meningkatkan kekuatan dan kepadatan beton (John dkk., 2019). Nano CaCO_3 memiliki potensi untuk menggantikan *fly ash* baik secara ekonomi, lingkungan, maupun teknis dalam industri semen dan beton (Poudyal dkk., 2021). Nano- CaCO_3 meningkatkan kekuatan tekan dan kuat lentur beton (Sun dkk., 2020).

Penggantian semen dengan debu kalsium karbonat dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur, terutama pada beton dengan faktor air semen yang rendah (Saini dan Singh, 2018). Penggantian semen dengan kalsium karbonat optimum sebesar 15%. Penggunaan kalsium karbonat dapat meningkatkan *workability* dan kuat tekan beton (Das dan Reza, 2019).

METODE

Bahan susun beton terdiri dari: semen, pasir, dan batu pecah (*split*). Bahan tambah semen yang digunakan adalah *fly ash* dan kalsium karbonat (CaCO_3). Pasir dan batu pecah (*split*) bersumber dari Gunung Merapi, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Fly ash* bersumber dari Tanjung Jati B Power Plant, Kabupaten Jepara. Kalsium karbonat merupakan produk dari PT. Omya Indonesia.

Pengujian pendahuluan dilakukan untuk pasir dan batu pecah (*split*) sebelum membuat perancangan adukan beton (*mix design*). Pengujian *X-Ray Fluorescence* dilakukan terhadap *fly ash* dan kalsium karbonat. *Fly ash* dan kalsium karbonat pada penelitian ini seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Fly ash dan kalsium karbonat

Penambahan semen dengan *fly ash* sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. Penambahan semen dengan kalsium karbonat sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. Variasi penambahan semen pada penelitian ini seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Benda uji

Kode	Semen (%)	Fly Ash (%)	CaCO ₃ (%)	Jumlah benda uji
PF ₀ C ₀	100	0	0	2
PF ₅ C ₀	100	5	0	2
PF ₁₀ C ₀	100	10	0	2
PF ₁₅ C ₀	100	15	0	2
PF ₂₀ C ₀	100	20	0	2
PF ₀ C ₅	100	0	5	2
PF ₀ C ₁₀	100	0	10	2
PF ₀ C ₁₅	100	0	15	2
PF ₀ C ₂₀	100	0	20	2
Jumlah benda uji				18

Kuat tekan yang disyaratkan ditetapkan sebesar 20 MPa pada umur 28 hari. Perancangan campuran (*mix design*) berdasarkan SNI 03-2834-2000. Dari hasil *mix design* didapat untuk 1 m³ beton digunakan 205 liter air : 427 kg semen : 730 kg pasir : 1029 kg batu pecah.

Faktor air semen (fas) dari hasil *mix design* 0,48. Pada penelitian ini digunakan faktor air semen (fas) tetap dengan jumlah semen total adalah jumlah semen ditambah *fly ash* atau jumlah semen ditambah kalsium karbonat. Penambahan semen dengan *fly ash* atau kalsium karbonat diikuti dengan penambahan air untuk mempertahankan faktor air semen.

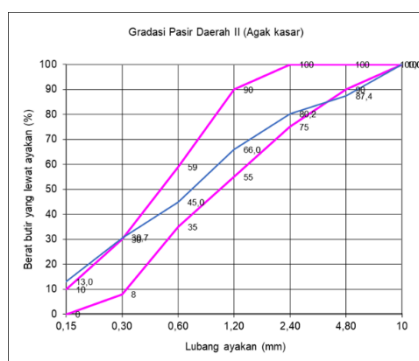
Pengujian yang dilakukan adalah pengujian *slump* dan kuat tekan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian pasir seperti pada Tabel 2 dan Gambar 2.

Tabel 2. Hasil pengujian pasir

No	Jenis pemeriksaan	Hasil pemeriksaan	Satuan
1	Kadar lumpur	3,296	%
2	Berat jenis (SSD)	2,777	-
3	Berat isi	1,284	gr/cm ³
4	MHB	2,777	-
5	Kadar air	3,432	%
6	Penyerapan	2,207	%

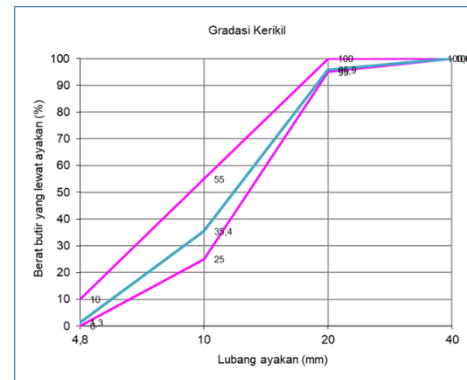


Gambar 2. Gradasi pasir

Hasil pengujian batu pecah (*split*) seperti pada Tabel 3 dan Gambar 3.

Tabel 3. Hasil pengujian batu pecah (*split*)

No	Jenis pemeriksaan	Hasil pemeriksaan	Satuan
1	Berat jenis (SSD)	2,598	-
2	Berat isi	1,317	gr/cm ³
3	MHB	6,611	-
4	Keausan	40,85	%
5	Kadar air	2,912	%
6	Penyerapan	2,721	%



Gambar 3. Gradasi batu pecah (*split*)

Hasil pengujian X-Ray *Flourescence fly ash* seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil X-Ray *Flourescence fly ash*

Senyawa	Hasil Uji	Batasan (ASTM C618-12a, 2012)		
	Fly Ash (%)	Class N (%)	Class F (%)	Class C (%)
Silicon Oxide (SiO ₂)	21,501	-	-	-
Aluminum Oxide (Al ₂ O ₃)	6,900	-	-	-
Iron Oxide (Fe ₂ O ₃)	25,506	-	-	-
Sum (SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃)	53,907	Min 70	Min 70	Min 50
Sulfur Trioxide (SO ₃)	0,702	Max 4	Max 5	Max 5
Calcium Oxide (CaO)	6,957	-	-	-
Magnesium Oxide (MgO)	0,171	-	-	-
Sodium Oxide (Na ₂ O)	1,506	-	-	-
Potassium Oxide (K ₂ O)	1,918	-	-	-
Sodium Oxide Equivilant (Na ₂ O+0,658K ₂ O)	2,768	-	-	-
Moisture Content	-	Max 3	Max 3	Max 3
Loss on ignition	-	Max 10	Max 6	Max 6

Berdasarkan ASTM C618-12a (Tabel 4) diketahui bahwa *fly ash* pada penelitian ini termasuk pozolan kelas C karena jumlah $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ lebih dari 50% dan SO_3 kurang dari 5%.

Hasil pengujian *X-Ray Fluorescence* kalsium karbonat (CaCO_3) seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil *X-Ray Fluorescence* kalsium karbonat

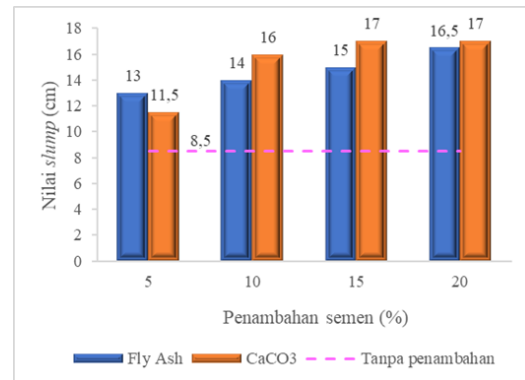
Senyawa	Hasil Uji	Batasan (ASTM C618-12a, 2012)		
	<i>Fly Ash</i> (%)	Class N (%)	Class F (%)	Class C (%)
Silicon Oxide (SiO_2)	0,01788	-	-	-
Aluminum Oxide (Al_2O_3)	0,35900	-	-	-
Iron Oxide (Fe_2O_3)	0,04892	-	-	-
Sum ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$)	0,42581	Min 70	Min 70	Min 50
Sulfur Trioxide (SO_3)	0,08962	Max 4	Max 5	Max 5
Calcium Oxide (CaO)	83,5990	-	-	-
Magnesium Oxide (MgO)	0,03104	-	-	-
Sodium Oxide (Na_2O)	2,01000	-	-	-
Potassium Oxide (K_2O)	0,07065	-	-	-
Sodium Oxide Equivilant ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658\text{K}_2\text{O}$)	2,05649	-	-	-
Moisture Content	-	Max 3	Max 3	Max 3
Loss on ignition	-	Max 10	Max 6	Max 6

Berdasarkan ASTM C618-12a (Tabel 5), kalsium karbonat (CaCO_3) tidak termasuk pozolan karena jumlah $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ jauh lebih kecil dari 50%, tetapi senyawa *Calcium Oxide* (CaO) sangat tinggi yaitu 83,599%.

Nilai *slump* campuran beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* dan kalsium karbonat adalah seperti pada Tabel 6 dan Gambar 4.

Tabel 6. Nilai *slump* campuran beton

Kode	Penambahan semen (%)	Semen (%)	<i>Fly ash</i> (%)	CaCO_3 (%)	Nilai <i>slump</i> (cm)
SF ₀ C ₀	0	100	0	0	8,5
SF ₅ C ₀	5	100	5	0	13
SF ₁₀ C ₀	10	100	10	0	14
SF ₁₅ C ₀	15	100	15	0	15
SF ₂₀ C ₀	20	100	20	0	16,5
SF ₀ C ₅	5	100	0	5	11,5
SF ₀ C ₁₀	10	100	0	10	16
SF ₀ C ₁₅	15	100	0	15	17
SF ₀ C ₂₀	20	80	0	20	17



Gambar 4. Nilai *slump* campuran beton

Dari Tabel 6 dan Gambar 4, nilai *slump* campuran beton normal tanpa penambahan semen dengan *fly ash* dan kalsium karbonat (CaCO_3) sebesar 8,5 cm. Nilai *slump* campuran dengan penambahan semen dengan *fly ash* lebih besar dari nilai *slump* beton normal. Semakin besar persentase penambahan semen dengan *fly ash* semakin tinggi nilai *slump*.

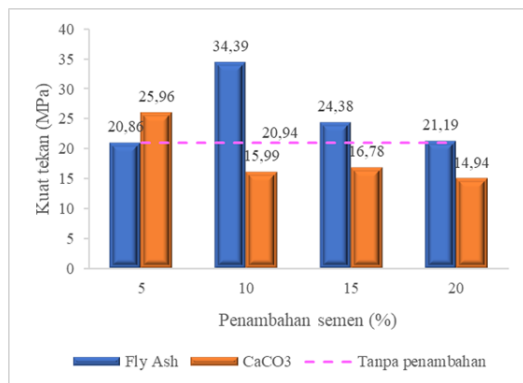
Dari Tabel 6 dan Gambar 4, nilai *slump* campuran dengan substitusi semen dengan kalsium karbonat (CaCO_3) lebih tinggi dari nilai *slump* beton normal. Semakin besar persentase penambahan semen dengan kalsium karbonat semakin tinggi nilai *slump*.

Penambahan semen dengan *fly ash* menghasilkan nilai *slump* yang lebih rendah dari penambahan semen dengan kalsium karbonat pada 10%, 15%, dan 20%. Penambahan semen dengan *fly ash* menghasilkan nilai *slump* yang lebih tinggi dari penambahan semen dengan kalsium karbonat pada 5%.

Kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* dan kalsium karbonat adalah seperti pada Tabel 7 dan Gambar 5.

Tabel 7. Kuat tekan beton

Kode	Penambahan semen (%)	Semen (%)	<i>Fly ash</i> (%)	CaCO_3 (%)	Kuat tekan (MPa)
SF ₀ C ₀	0	100	0	0	20,94
SF ₅ C ₀	5	100	5	0	20,86
SF ₁₀ C ₀	10	100	10	0	34,39
SF ₁₅ C ₀	15	100	15	0	24,38
SF ₂₀ C ₀	20	100	20	0	21,19
SF ₀ C ₅	5	100	0	5	25,96
SF ₀ C ₁₀	10	100	0	10	15,99
SF ₀ C ₁₅	15	100	0	15	16,78
SF ₀ C ₂₀	20	80	0	20	14,94



Gambar 5. Kuat tekan beton

Dari Tabel 7 dan Gambar 5, kuat tekan beton normal tanpa penambahan semen dengan *fly ash* dan kalsium karbonat (CaCO₃) sebesar 20,94 MPa. Kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* lebih kecil dari kuat tekan beton normal pada penambahan semen 5%. Kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* lebih besar dari kuat tekan beton normal pada substitusi 10%, 15%, dan 20%. Secara umum kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* lebih tinggi dari kuat tekan beton normal sampai penambahan semen 20%.

Dari Tabel 7 dan Gambar 5, kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan kalsium karbonat (CaCO₃) lebih rendah dari kuat tekan beton normal pada penambahan semen 10%, 15%, dan 20%. Kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan kalsium karbonat (CaCO₃) lebih tinggi dari kuat tekan beton normal pada penambahan semen 5%. Secara umum kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan kalsium karbonat (CaCO₃) lebih rendah dari kuat tekan beton normal sampai penambahan semen 20%.

Penambahan semen dengan *fly ash* menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dari penambahan semen dengan kalsium karbonat pada 5%. Penambahan semen dengan *fly ash* menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dari penambahan semen dengan kalsium karbonat pada 10%, 15%, dan 20%. Secara umum kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* lebih tinggi dari kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan kalsium karbonat (CaCO₃) sampai penambahan semen 20%.

KESIMPULAN

Fly ash yang dipakai pada penelitian ini termasuk pozolan kelas C sedangkan kalsium karbonat tidak termasuk kelompok pozolan. Penambahan semen dengan *fly ash* sebesar 5%

sampai 20% meningkatkan nilai *slump*. Penambahan semen dengan kalsium karbonat sebesar 5% sampai 20% meningkatkan nilai *slump*. Penambahan semen dengan *fly ash* menghasilkan nilai *slump* yang lebih rendah dari penambahan semen dengan kalsium karbonat pada 10% sampai 20%, dan lebih tinggi pada 5%. Kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* lebih tinggi dari kuat tekan beton normal sampai penambahan semen 20%. Kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan kalsium karbonat lebih rendah dari kuat tekan beton normal sampai penambahan semen 20%. Kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan *fly ash* lebih tinggi dari kuat tekan beton dengan penambahan semen dengan kalsium karbonat sampai penambahan semen 20%.

REFERENSI

- Adinna, B.O., Chijioke, C., and Uzodinma, F.C., 2023, "Addition of Fly Ash in Small Quantity to Concrete: Effects on Strength, Workability and Water Absorption", *Nnamdi Azikiwe University Journal of Civil Engineering (NAUJCVE)*, 1(1), 32–36. www.naujcve.com
- ASTM C618–12a., 2012, "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete", In *ASTM International* (pp. 1–5). <https://doi.org/10.1520/C0618>
- Das, A., and Reza, M., 2019, "Experimental Study of Ultrafine Calcium Carbonate Powder and Flyash in Concrete", *Global Journal of Engineering Science and Researches*, 6(5), 541–551.
- EUCD., n.d., "Supplementary Cementitious Materials, Technical Bulletin AD-01", Retrieved September 6, 2024, from www.euclidchemical.com
- Hygrive, M.S.K., Kishore, I.S., and Chari, K.J.B., 2017, "Comparative study on compressive strength of fly ash concrete", *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(4), 1737–1745.
- John, W., Oghenekume, A.O., and Zahemen, T.L., 2019, "The Effect of Calcium Carbonate Filler on Self-Compacting Concrete Using Different Aggregate Sizes", *European Journal of Engineering Research and Science*, 4(9), 9–16. <https://doi.org/10.24018/ejers.2019.4.9.1485>
- Li, G., Zhou, C., Ahmad, W., Usanova, K.I., Karelina, M., Mohamed, A.M., and Khallaf, R., 2022, "Fly Ash Application as Supplementary Cementitious Material: A Review", *Materials*, 15(7), 1–23. <https://doi.org/10.3390/ma15072664>

- Marthong, C., and Agrawal, T.P., 2012, "Effect of Fly Ash Additive on Concrete Properties", *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)* Wwww.Ijera.Com, 2(4), 1986–1991. www.ijera.com
- Muñoz-Pérez, S.P., Lozano-Sánchez, J.J., Ramírez-Silva, D.M., Vallejos-Medianero, J.E., and Iturregui, J.D.D.M., 2024, "Use and effect of fly ash in concrete: a literature review", *Revista Facultad de Ingenieria*, 111, 105–118. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20230927>
- Pangestuti, E.K., Handayani, S., Purnomo, M., Silitonga, D.C., and Fathoni, M.H., 2018, "The Use of Fly Ash as Additive Material to High Strength Concrete", *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 20(2), 65–70. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v20i2.16274>
- Poudyal, L., Adhikari, K., and Won, M., 2021, "Nano calcium carbonate (Caco3) as a reliable, durable, and environment-friendly alternative to diminishing fly ash", *Materials*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/ma14133729>
- Saha, A.K., 2018, "Effect of class F fly ash on the durability properties of concrete", *Sustainable Environment Research*, 28(1), 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2017.09.001>
- Saini, U., and Singh, S.K., 2018, "Performance Evaluation of Concrete using Ultra Fine Calcium Carbonate Powder", *International Journal of Advance Research in Science and Engineering (IJARSE)*, 07(03), 22–23. <https://www.researchgate.net/publication/325283740>
- SNI 03-2834-2000., 2000, "Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal".
- Sun, Y., Zhang, P., Guo, W., Bao, J., and Qu, C., 2020, "Effect of Nano-CaCO₃ on the Mechanical Properties and Durability of Concrete Incorporating Fly Ash", *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020, <https://doi.org/10.1155/2020/7365862>