

## **ANALISIS PENGARUH PROPORSI *FLY ASH* BATU BARA SEBAGAI BAHAN *POZZOLAN* TERHADAP *WORKABILITY* BETON NORMAL**

**Nur Afni Helia Dewi<sup>1</sup>, Amri Gunasti<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email: [nurafnihelia@gmail.com](mailto:nurafnihelia@gmail.com)

### **ABSTRACT**

*The use of coal as fuel for the Paiton Steam Power (PLTU) produces waste in the form of fly ash and bottom ash. Fly ash contains a high amount of calcium oxide, which give it pozzolanic properties when it reacts with water. The use of fly ash as an additive in concrete or as a partial replacement for cement has been widely developed. The aim of this research is to determine the effect of adding coal fly ash on the slump value of normal concrete. Five variations of samples were tested, each with three replicates, namely normal concrete (0% fly ash) and mixtures of 5%, 10%, 15%, and 20% fly ash. The type of fly ash used is type C from the Paiton Steam Power. Material characteristic testing was conducted on coarse aggregates, fine aggregates, and fly ash. The slump test results were statistically analyzed using a one-way ANOVA method to determine whether there were significant differences among the groups. The highest slump value was observed in the 15% fly ash variation, which reached 120 mm, while the statistical test indicated a significant difference in the addition of fly ash to the concrete slump value with a significance value or p-value of 0.000 (<0.05).*

**Keywords:** ANOVA, Concrete, Fly ash, Slump.

### **Riwayat Artikel :**

Tanggal diterima : 20-10-2025

Tanggal direvisi : 04-11-2025

Tanggal terbit : 08-12-2025

### **DOI :**

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v12i01.16145>

## **1. PENDAHULUAN**

Penggunaan bahan bakar batu bara sebagai sumber energi dari aktivitas Pembangkit Listrik Tenaga Uap memiliki dampak buruk bagi lingkungan yaitu limbah padat (Abinawa & Gobel, 2024). Limbah padat yang dihasilkan dapat dikategorikan kedalam dua jenis yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*) (Kar, 2022). Secara berurutan perbandingan hasil limbah *fly ash* dan *bottom ash* yang diperoleh berkisar 75% dan 25% (Khasanah & Arief, 2022). Sedangkan Menurut Khasanah & Arief, (2022); Sukmawati *et al.* (2024), PLTU Paiton membutuhkan sekitar  $\pm 250$  ton batu bara dalam proses pembakaran. Upaya memanfaatkan kembali limbah batu bara telah banyak dikembangkan seperti penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen pada beton normal (Idris *et al.*, 2023), pada beton mutu tinggi

(Ferdiansyah & Rochmah, 2022) dan pada balok beton bertulang tunggal (Sukmawati *et al.*, 2024).

Kegiatan pembangunan atau konstruksi umumnya tidak lepas menggunakan bahan material yakni beton (Afrilia *et al.*, 2023). SNI 2847:2019, Beton adalah bahan campuran agregat halus, agregat kasar, air, bahan pengikat hidrolis atau semen dan *admixture*. Agregat halus dan agregat kasar merupakan bahan susun kasar pada campuran beton sedangkan air dan bahan pengikat hidrolis sebahen bahan aktif dalam proses reaksi kimia selama proses pengerasan (Masood *et al.*, 2025). Beton memiliki beberapa keunggulan yaitu terjangkau, pengerjaannya mudah serta dalam proses perawatannya (Sultan *et al.*, 2019). Beton memiliki sifat lemah terhadap kuat tarik

This is an open access article under the CC BY-4.0 license.



(*tension*) dan mampu menahan terhadap beban tekan (*compression*) (Marulitua *et al.*, 2022).

*Fly ash* atau abu terbang tergolong bahan tambah (*additive*) yang memiliki sifat *pozzolan* (Sriwahyuni, 2024). Berdasarkan konsentrasi atau kandungan senyawa kimia, *fly ash* dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu (1) *Type F* dengan kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) diatas 70%, sedangkan kandungan CaO hanya 5% dan; (2) *Type C* dengan kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dibawah 50%, sedangkan kandungan CaO dapat mencapai 10% (Samosir & Rusli, 2021). Dengan kandungan CaO *fly ash type C* berpotensi memiliki sifat penyemen saat dicampur dengan air. *Fly ash* batu bara dapat bereaksi atau melakukan proses hidrasi pada kalsium hidroksida, sehingga menghasilkan suatu ikatan kalsium silika hidrat (Kar, 2022).

Pengerjaan beton perlu dilakukan beberapa uji untuk mengetahui kualitas adonan beton yang dipersyaratkan seperti *slump test* (Juliar & Rudianto, 2023). Uji *Slump* beton merupakan salah satu metode untuk mengetahui tingkat kekentalan beton sebelum dilakukan pengecoran (PUPR, 2025). Umumnya pengujian *slump* dengan menggunakan kerucut abrams berdasarkan standar ASTM C-143. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Idris *et al.* (2023), Penggunaan bahan tambah *fly ash* menunjukkan kenaikan nilai *slump* yaitu pada variasi 30%, sedangkan eksperimen yang dilakukan oleh Sukmawati *et al.* (2024), Menunjukkan nilai *slump* tertinggi pada variasi 15%. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu adanya suatu kajian terkait pengaruh proporsi *fly ash* batu bara sebagai bahan *pozzolan* terhadap *workability* beton, sehingga didapatkan informasi penggunaan variasi yang tepat dalam penggunaan bahan tambah *fly ash* batu bara pada campuran beton.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada Maret 2024, Laboratorium Beton Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jember. Material *fly ash* batu bara yang digunakan adalah kelas C dari PLTU Paiton dan semen yang digunakan yaitu semen Gresik. Pasir yang digunakan sebagai agregat

halus adalah pasir Lumajang. Dan untuk koral yang digunakan berukuran 10 mm sebagai agregat kasar. Terdapat lima jenis sampel uji pada variasi *fly ash* batu bara pada adonan beton dengan ulangan masing-masing sebanyak tiga. Variasi yang digunakan berdasarkan persentase *fly ash* batu bara sebagai bahan pengganti sebagian semen yaitu variasi 0% (beton normal), variasi 5% *fly ash* batu bara (BF-5%) , variasi 10% *fly ash* batu bara (BF-10%), variasi 15% *fly ash* batu bara (BF-15%) dan variasi 20% *fly ash* batu bara (BF-20%). Pengujian nilai *slump* menggunakan kerucut abrams (ASTM C-143). Analisis nilai *slump* yang didapat akan dilakukan uji statistik yaitu Uji *one way ANOVA*. Pengujian karakteristik pada material juga dilakukan seperti kadar air agregat, penyerapan air, kadar lumpur, berat jenis, berat volume, analisa ayakan, dan keausan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Pengujian Karakteristik Material

#### 3.1.1 Hasil Uji Agregat Kasar

Berdasarkan hasil uji yang diperoleh pada (Tabel 1.) menunjukkan semua hasil pengujian telah memenuhi ketentuan ASTM C 33 yaitu pada analisa ayakan 8,33% (5,5% - 8,5%), berat jenis 2,62  $\text{g/cm}^3$  (1,60 - 3,20  $\text{g/cm}^3$ ), berat volume 1,63  $\text{g/cm}^3$  (1,60 - 1,90  $\text{g/cm}^3$ ), kadar air 0,90% (0,5% - 2%), penyerapan air 0,90% (0,2% - 4%), dan keausan agregat 31,13% (<50%) sesuai ketentuan ASTM C 535-03. Analisa ayakan dilakukan bertujuan untuk mengetahui ukuran partikel agregat baik kasar dan halus (Mose *et al.*, 2022). Uji berat jenis agregat dilakukan untuk menentukan proporsi campuran dan menunjukkan pengaruh terhadap daya serap air, sedangkan pengujian kadar air untuk menentukan konsistensi campuran pada beton (Kamil & Nely, 2023). Uji kadar lumpur bertujuan untuk mengetahui persentase debu halus pada permukaan agregat, semakin tinggi nilai kadar lumpur maka agregat menunjukkan kualitas yang kurang baik (Mose *et al.*, 2022). Uji keausan atau daya tahan agregat juga dilakukan untuk menunjukkan sejauh mana agregat untuk tidak mudah hancur (Sukmawati *et al.*, 2024).

Tabel 1. Hasil pengujian agregat kasar.

Uji Material	Hasil	Satuan
Analisa Saringan	8,33	%
Berat Jenis	2,62	g/cm <sup>3</sup>
Berat Volume	1,63	g/cm <sup>3</sup>
Kadar Air	0,90	%
Kadar Lumpur	0,10	%
Penyerapan Air	0,90	%
Keausan Agregat	31,13	%

### 3.1.2 Hasil Uji Agregat halus dan *Fly Ash* Batu Bara

Berdasarkan hasil uji yang didapatkan pada (Tabel 2.) menunjukkan semua hasil pengujian telah memenuhi ketentuan ASTM C 33 yaitu pada analisa ayakan 3,801 % (2,20% - 3,10%), berat jenis 2,81 g/cm<sup>3</sup> (1,60 - 3,20 g/cm<sup>3</sup>), kadar air 3,02 % (3,0% - 5,0%), kadar lumpur 0,4% (0,2% - 6%), penyerapan air 1,31 % (0,2% - 2%) dan berat volume sebesar 1,4 g/cm<sup>3</sup>. Pengujian penyerapan air bertujuan untuk mengetahui nilai dan kemampuan agregat dalam menyerap air (porositas agregat) (Ding *et al.*, 2023). Nilai penyerapan air semakin tinggi maka agregat memiliki ukuran pori besar dan menunjukkan kualitas yang kurang baik untuk bahan adonan beton (Yu *et al.*, 2024).

Hasil uji pada (Tabel 3.) menunjukkan bahwa *fly ash* batu bara yang digunakan sebagai bahan campuran pada adonan beton telah memenuhi standar spesifikasi *Natural Pozzolan* yaitu ASTM C618-08a dengan ditunjukkan berat jenis 2,71 g/cm<sup>3</sup> (maksimal 3,15 g/cm<sup>3</sup>) dan kadar air 1,02% (maksimal 3%). Jika nilai pengujian berat jenis pada *fly ash* >3,15 g/cm<sup>3</sup> menunjukkan adanya kandungan mineral inert. Sedangkan, jika berat jenis terlalu rendah <2,0 g/cm<sup>3</sup> menunjukkan proses pembakaran karbon kurang optimal. Hasil pembakaran batu bara setiap PLTU memiliki perbedaan sifat fisik *fly ash* baik jenis batu bara yang digunakan dan suhu pembakaran. Hal ini yang menyebabkan pengujian karakteristik *fly ash* perlu diperhatikan sebelum digunakan dalam *mix design* beton.

Tabel 2. Hasil pengujian agregat halus.

Uji Material	Hasil	Satuan
Analisa Saringan	3,801	%
Berat Jenis	2,81	g/cm <sup>3</sup>
Berat Volume	1,4	g/cm <sup>3</sup>
Kadar Air	3,02	%
Kadar Lumpur	0,4	%
Penyerapan Air	1,31	%

Tabel 3. Hasil pengujian *Fly ash* batu bara.

Uji Material	Hasil	Satuan
Berat Jenis	2,71	g/cm <sup>3</sup>
Kadar Air	1,02	%

### 3.2 Hasil Pengujian dan Analisis *Slump*

Berdasarkan hasil yang diperoleh seperti pada (Tabel 4.) menunjukkan rata-rata nilai *slump* pada rentang 105 - 120 mm. Nilai *slump* tertinggi ditunjukkan pada variasi BF-15%

sebesar 120 mm, sedangkan pada variasi BF-5% dan BF-20% menunjukkan kenaikan dibandingkan beton normal yaitu sebesar 116 mm dan 118 mm. Sedangkan untuk variasi BF-10% memiliki nilai *slump* sama dengan beton

normal yaitu 105 mm. Nilai uji *slump* untuk beton normal berkisar 75 – 150 mm pada

kegiatan konstruksi pelat, kolom, balok dan pondasi (PUPR, 2025).

Tabel 4. Hasil pengujian *slump*.

Variasi Campuran Fly Ash Batu Bara	Nilai Slump 1 (mm)	Nilai Slump 2 (mm)	Nilai Slump 3 (mm)	Rata-rata Nilai Slump (mm)
Beton Normal	105	106	104	105
BF-5%	116	115	117	116
BF-10%	104	106	105	105
BP-15%	121	119	120	120
BF-20%	118	117	119	118

Menurut Julian & Rudianto (2023), Pengujian *slump* dirancang dalam melihat tingkat kekentalan yang akan mempengaruhi workabilitas dan permeabilitas ketika proses pengerjaan. Beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh Menurut Nkomo & Alugongo (2023), Adanya kenaikan signifikan dengan penambahan *fly ash* batu bara pada nilai *slump* di semua variasi yaitu 15%, 20%, 25% dan 30%. Menurut Alhassan *et al.* (2022), Kenaikan nilai *slump* juga ditemukan pada variasi 10%, 20% dan 30% *fly ash* batu bara. Menurut Vikram *et al.* (2024), Pada variasi 30% *fly ash* batu bara menunjukkan nilai *slump* sebesar 120 mm. Eksperimen yang dilakukan (Sukmawati *et al.*, 2024), juga menunjukkan nilai *slump* tertinggi untuk variasi 15% pada balok beton bertulang tunggal.

Menurut Golewski (2023), Kenaikan nilai *slump* pada adonan beton yang divariasikan dengan *fly ash* batu bara disebabkan oleh bentuk mikroskopis atau partikel *fly ash* batu bara yaitu halus dan bulat sehingga menciptakan *ball bearing effect* pada saat pengerjaan beton atau meningkatkan kelecakan beton. Menurut Kar (2022), Secara kimia komposisi partikel *fly ash* batu bara terdiri atas *cenosfer* (300  $\mu\text{m}$ ) dan *plerosfer* (10-20  $\mu\text{m}$ ). Dengan didukung ukuran partikel yang sangat kecil sehingga *fly ash* batu bara dapat meningkatkan *workability* pada beton. Penelitian yang dilakukan oleh Sahast *et al.* (2022), Pada beton SCC (*Self Compacting*

*Concrete*) penambahan variasi *fly ash* batu bara yang lebih tinggi dapat menurunkan nilai *slump* akibat partikel *fly ash* batu bara yang sangat halus sehingga kebutuhan air menjadi meningkat maka terdapat kadar tertentu atau optimum dalam penggunaan *fly ash* batu bara sebagai bahan substitusi semen untuk menjaga kelecakan dan kekuatan pada beton. Menurut Kar (2022), Selain kadar atau persentase variasi penentuan tipe *fly ash* batu bara yang digunakan juga mempengaruhi nilai *slump* pada adonan beton.

Penelitian ini dilakukan uji *One Way ANOVA* sehingga perlu dilakukan verifikasi data yaitu dilakukan uji normalitas dan homogenitas sebelumnya. Pengujian normalitas data pada nilai *slump* digunakan metode *Shapiro-Wilk*. Standar penggunaan uji normalitas yaitu *Shapiro-Wilk* dengan ketentuan jumlah data yang didapatkan <30 sampel (n) dengan *p value* >0,05, sehingga untuk sampel dengan rentang kecil sampai dengan sedang dapat menggunakan uji normalitas *Shapiro-Wilk* dalam menginterpretasikan nilai *p value* (Shapiro & Wilk, 1965). Maka, penelitian ini lebih tepat menggunakan uji normalitas *Shapiro-Wilk* untuk melihat normalitas tiap kelompok. Kemudian dilakukan uji homogenitas dengan metode *Levene Test* dengan *p value* >0,05 dengan asumsi bahwa data memiliki variansi homogen atau seragam (Levene, 1960). Hasil analisis uji dapat dilihat pada (Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7).

Tabel 5. Uji normalitas (*Shapiro-Wilk*).

<b>Tests of Normality</b>							
Variasi_FA (%)		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Nilai_Slump	0	0,175	3	.	1,000	3	1,000
	5	0,175	3	.	1,000	3	1,000
	10	0,175	3	.	1,000	3	1,000
	15	0,175	3	.	1,000	3	1,000
	20	0,175	3	.	1,000	3	1,000

Tabel 6. Uji homogenitas (*Levene Test*).

<b>Test of Homogeneity of Variances</b>					
		Levene			
		Statistic	df1	df2	Sig.
Nilai_Slump	Based on Mean	0,000	4	10	1,000
	Based on Median	0,000	4	10	1,000
	Based on Median and with adjusted df	0,000	4	10,000	1,000
	Based on trimmed mean	0,000	4	10	1,000

Tabel 7. Uji *One Way ANOVA*.

<b>ANOVA</b>					
Nilai_Slump					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	632.400	4	158.100	158.100	0,000
Within Groups	10.000	10	1.000		
Total	642.400	14			

Hasil analisis uji normalitas (*Shapiro-Wilk*) dan homogenitas (*Levene Test*) menunjukkan nilai signifikansi atau *p value* >0,05, maka data terdistribusi normal dan varians antar kelompok adalah homogen. Sedangkan analisis *One Way*

*ANOVA* (Tabel 7), menunjukkan nilai signifikansi atau *p value* <0,05 yaitu nilai sig. sebesar 0,000, maka ada perbedaan secara signifikan antar kelompok. Sehingga, secara uji statistik variasi penambahan *fly ash* batu bara

memberikan pengaruh signifikan terhadap *workability* atau nilai *slump* beton. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Choi & Park (2024), Penggunaan kadar *fly ash* batu bara (<10  $\mu\text{m}$ ) yang tepat dapat meningkatkan reaksi hidrasi pada pengikatan awal semen sehingga akan mempengaruhi nilai kuat beton. Menurut Sukmawati *et al.* (2024), Penggunaan variasi 15% *fly ash* batu bara menunjukkan nilai

*slump* dan kuat tekan tertinggi yaitu 120 mm dan 25,87 MPa. Dengan hasil pengujian *ANOVA* yang didapatkan yaitu adanya perbedaan signifikan (*p value* <0,05), dapat dilakukan uji lanjut atau analisis *Post Hoc* untuk mengetahui perbandingan beda nyata antar kelompok yaitu beton normal dengan beton tambahan *fly ash* batu bara.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian pengaruh proporsi *fly ash* batu bara sebagai bahan *pozzolan* terhadap *workability* beton sebagai berikut:

1. Penambahan *fly ash* batu bara dapat meningkatkan nilai *slump* dibandingkan beton normal dan nilai *slump* tertinggi adalah pada variasi 15% dengan nilai rata-rata 120 mm.
2. Penambahan *fly ash* batu bara memberikan pengaruh secara signifikan ditunjukkan dengan hasil analisis uji statistik (*One Way ANOVA*) dengan nilai *p value* <0,05 (nilai sig. 0,000).

#### 5. REFERENSI

- [1] Abinawa, C., & Gobel, P., A. (2024). Studi pengolahan limbah *fly ash* batubara dalam upaya peningkatan konsentrasi silika menggunakan asam sitrat. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 3(3), 288–296.
- [2] Afrilia, A. T., Manggala, S., A., & Muhtar. (2023). Studi eksperimental kekakuan balok beton bertulang rangkap dengan agregat normal. *Jurnal Smart Teknologi*, 4(4), 100–106.
- [3] Alhassan, A., Y., Onugba, A., M., & Emmanuel. (2022). Experimental study on the effect of fly ash on concrete. *IOSR International Journal of Mechanical and Civil Eng. (IOR-JMCE)*, 19(3), 40-45.
- [4] ASTM, C143. (2014). *Standart test method for slump of hydraulic cement concrete*. United States.
- [5] ASTM, C33. (2013). *Standart specification for concrete aggregates*. United States.
- [6] ASTM, C535-03. (2003). *Standart test method for resistance to degradation of large-size coarse aggregate by abrasion and impact in the los angeles machine*. United States.
- [7] ASTM, C618-08a. (2008). *Standart specification of coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete*. United States.
- [8] Choi, C. Y., & Park, B. (2024). Effect of fly ash particle size and chemical activators on the hydration of high volume fly ash mortars. *J. Materials*, 17(22), 5485.
- [9] Ding, Y., She, A., & Yao, W. (2023). Investigation of water absorption behavior of recycled aggregates and its effect on concrete strength. *J. Materials*, 16, 4505, 1-17.
- [10] Ferdiansyah, R., A., M., & Rochmah, N. (2022). Pengaruh penggunaan *fly ash* pada beton mutu tinggi terhadap nilai kuat tekan. *Jurnal SONDIR*, 6(2), 34–41.
- [11] Golewski, L. G. (2023). The effect of the addition of coal fly ash (CFA) on the control of water movement within the structure of the concrete. *J. Materials*, 16(15), 5218.
- [12] Idris, M., Trisnawathy, Hisbullah, & Yusril, I. (2024). Kuat tekan beton dengan penambahan *fly ash* batu bara sebagai pengganti sebagian semen. *Journal of App. Civ. and Enviro. Eng*, 3(1), 39–43.
- [13] Juliar, E., & Rudianto, S. E. (2023). Pengaruh penggunaan admixture tipe E dengan pengurangan jumlah kadar air terhadap nilai slump dan kuat tekan beton pada quarry ex. cikeruh. *J-ENSISTEC: Journal of Eng. and Sustainable Tech*, 10(1), 950-954.
- [14] Kamil, F., & Nely, K. (2023). Pengujian awal agregat kasar, agregat halus, semen,

- dan air: fondasi penelitian beton berkualitas . *Jurnal Konstruksi dan Infrastruktur*, xi(2), 78-88.
- [15] Kar, K. K. (2022). *Handbook of fly ash*. Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier. United Kingdom.
- [16] Khasanah, L., & Arief, B. (2022). Pengaruh penambahan FABA terhadap sifat fisik dan derajat keasaman (pH) kompos . *Jurnal Teknologi Separasi*, 8(3), 460–468.
- [17] Levene, H. (1960). *Contributions to probability and statistics: Robust tests for equality of variances*. Stanford Univ. Press. United States of America.
- [18] Marulitua, A., Deny, S., & Zeldi, M. (2022). Perancangan struktur beton bertulang pada bangunan gedung rumah dan toko 4 lantai di jalan sepakat II kota pontianak. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 2(2), 1–9.
- [19] Masood, S., Dagang, L., Onyelowe, C. K., Shah, M. M., Almujiyah, H., Rezzoug, A., Ahmed, H., Ra,mzan, T., Kahla, B. N., & Ghazouani, N. (2025). Performance and sustainability in hybrid concrete: a study of recycled aggregates and activated fly ash. *Ain Shams Engineering Journal*, 16, 103597, 1–17.
- [20] Mose, L., Johannes, J. & Sahureka, M. J. T. (2022). Perbandingan kuat tekan beton dengan menggunakan agregat sungai desa tepa dan pantai wati desa yatoke di pulau babar. *Jurnal Manumata*, 8(1), 1–10.
- [21] Nkomo, Z., N., & Alugongo, A., A. (2023). Experimental investigation of effect of partial replacement of cement with fly ash on the workability and mechanical properties of concrete. *International Journal of Eng. Trends and Tech. (IJETT)*, 71(9),116-128.
- [22] PUPR, Ditjen Cipta Karya. Mengenal slump beton. [https://ciptakarya.pu.go.id/admin/assets/upload/galeri/nspk/2023/02/22/916496\\_861259\\_MENGENAL%20SLUMP%20BETO](https://ciptakarya.pu.go.id/admin/assets/upload/galeri/nspk/2023/02/22/916496_861259_MENGENAL%20SLUMP%20BETO). N.pdf. Diakses tanggal 12 Oktober 2025.
- [23] Sahast, J. C., Noorhidana, A. V., Irianti, L., & Sebayang, S. (2022). Pengaruh penggunaan fly ash sebagai bahan pengganti sejumlah semen dan bahan tambahan terhadap kuat tekan pada self compacting concrete (SCC). *J. Rekayasa Sipil dan Desain*, 10(2), 359-372.
- [24] Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(4), 591-611.
- [25] Sukmawati, Y., Muhtar & Ahmad, H., H. (2024). Dampak penambahan fly ash batu bara terhadap kinerja balok beton bertulang tunggal . *REKAYASA: Journal of Sci. and Tech.*, 17(2), 286–297.
- [26] Sultan, A., M., Imran, & Faujan, M. (2019). Pengaruh penambahan limbah pembakaran batu bara (fly ash) ex PLTU RUM pada campuran beton . *TERAS Jurnal*, 9(2), 83–90.
- [27] SNI, 2847. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Badan Standarisasi Nasional. BSN.
- [28] Sriwahyuni, W. (2024). Pengaruh penambahan fly ash batu bara pada campuran beton terhadap tekan beton normal . *Diploma thesis*, Universitas Bung Hatta.
- [29] Vikram, M. K., Aparna, B. P., & Roopakala, C. G. (2024). Evaluation of fly ash as a partial replacement for cement in concrete: effects on strength and durability. *International Journal of Research in Applied Sci. and Eng. Tech. (IJRASET)*, 12(xii),1123-1127.
- [30] Yu, Z., Liu, C., Li, J., Wu, J., Ma, X., Cao, Y., Cao, J., Xiang, W., Wang, H., & Ding, Q. (2024). Research on the water absorption and release characteristics of a carbonarized y-C<sub>2</sub>S lightweight aggregate in lightweight and high-strength concrete. *J. Materials*, 14, 1056, 1-22.