PENGARUH PENGGUNAAN *RED MUD* DAN *FLY ASH* TERHADAP BERAT VOLUME DAN KUAT TEKAN PADA BETON NORMAL

Duta Anugrah Mahardika[1*], Erwin Sutandar[1], Asep Supriyadi[1]
[1,2,3]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura
[1]dutamahardika2@gmail.com

Abstract

Indonesia is one of the world's largest producers of bauxite, and the island of West Kalimantan is a region in Indonesia with significant bauxite reserves. The processing of bauxite also generates substantial amounts of waste in the form of fly ash and red mud, which can have a negative impact on the environment. Efforts to address this issue involve utilising fly ash and red mud waste as cement substitutes in normal concrete. The research methodology included testing material characteristics, mix design based on SNI 7656-2012, specimen preparation, and testing of the specimens. The objective of this study was to determine the effect of red mud and fly ash on the bulk density and compressive strength of normal concrete. The compositions used were 5% fly ash and variations of red mud at 0%, 5%, 10%, and 15% of the cement weight. The highest compressive strength obtained in this study was found in the 5% red mud and 5% fly ash variation, with a compressive strength of 31.619 MPa at 28 days.

***Keywords: Fly ash**, Normal concrete, Red mud*

Abstrak

Indonesia adalah salah satu negara penghasil bauksit terbesar didunia, pulau Kalimantan Barat merupakan wilayah di Indonesia dengan potensi sumber bauksit yang cukup tinggi. Pengolahan bauksit juga menghasilkan jumlah limbah berupa *fly ash* dan *red mud* yang cukup besar sehingga dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Upaya untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan memanfaatkan limbah *fly ash* dan *red mud* sebagai bahan substitusi semen pada beton normal. Metode penelitian ini meliputi pengujian karakteristik material, perencanaan campuran berdasarkan SNI 7656-2012, pembuatan benda uji, serta pengujian pada benda uji. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan *red mud* dan *fly ash* terhadap berat volume dan kuat tekan pada beton normal. Komposisi yang digunakan adalah *fly ash* 5% dan variasi *red mud* 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen. Hasil kuat tekan tertinggi yang didapat pada penelitian ini berada pada variasi *red mud* 5% dan *fly ash* 5% dengan hasil kuat tekan sebesar 31,619 MPa pada umur 28 hari.

Kata Kunci: *fly ash*, beton normal, *red mud*

Article History
Received: March 2026
Reviewed: March 2026
Published: March 2026

Plagiarism Checker No 235
Prefix DOI :
10.8734/Kohesi.v1i2.365
Copyright : Author
Publish by : Kohesi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

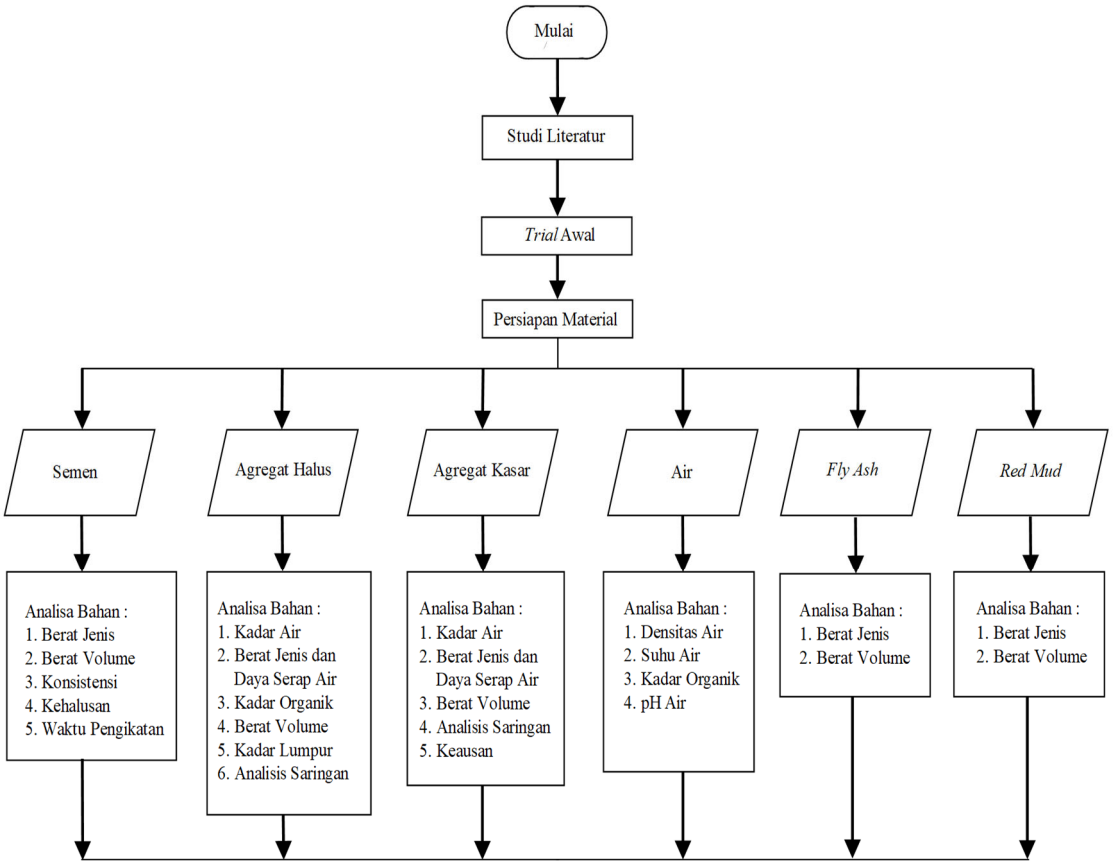
1. PENDAHULUAN

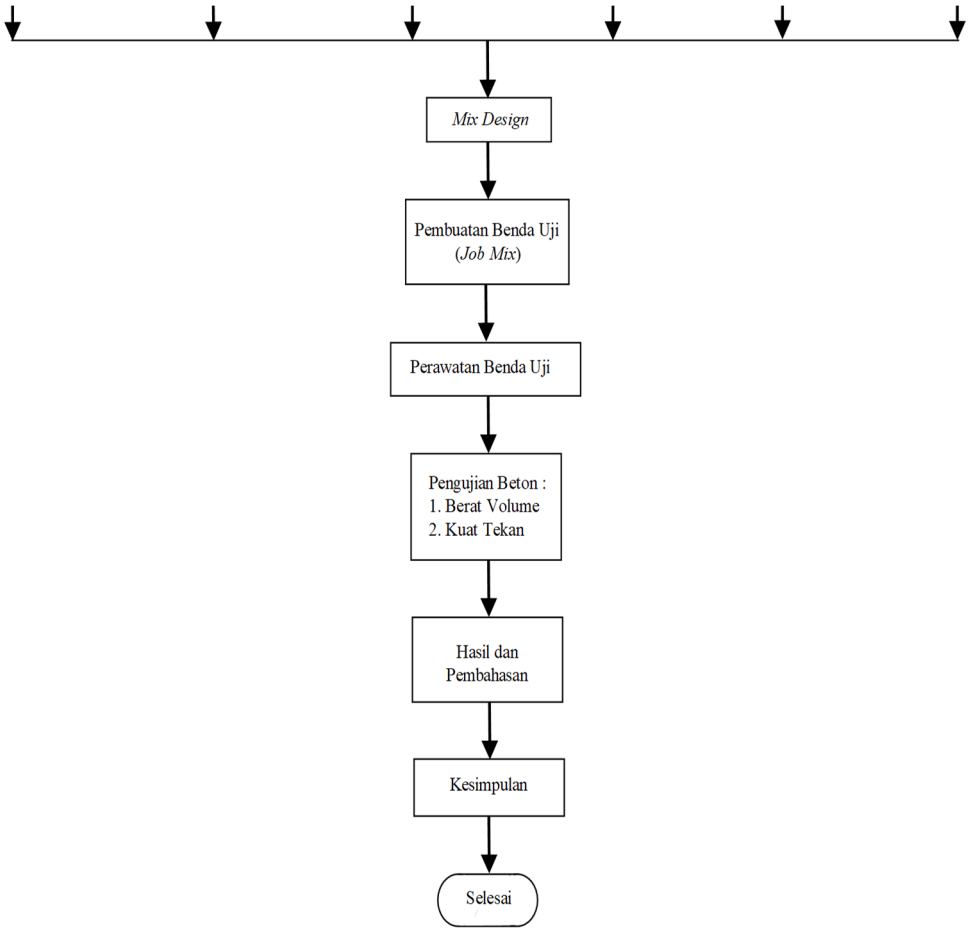
Kalimantan Barat adalah wilayah dengan potensi sumber bauksit yang cukup tinggi mengakibatkan jumlah limbah yang dihasil juga sangat besar. Salah satu perusahaan di Kalimantan Barat yang menjadi pengolahan bauksit adalah PT Indonesia Chemical Alumina (ICA). PT ICA merupakan perusahaan yang bergerak dibidang industri Chemical Grade Alumina (CGA) yang mengolah bauksit menjadi alumina di Indonesia, dan juga menempati posisi kelima di kawasan Asia Pasifik dalam pengolahan bauksit. Proses pengolahan bauksit tersebut menjadi alumina membutuhkan energi, sehingga kebutuhan energi dari pabrik tesebut berasal dari PLTU batubara. Penggunaan energi dari PLTU batubara tersebut akan menghasilkan sisa pembakaran batubara yang berupa abu dasar (*Bottom Ash*) dan abu terbang (*Fly ash*). Selain menghasilkan limbah hasil dari pembakaran batubara, perusahaan ini juga menghasilkan limbah lain yang berasal dari bauksit yaitu lumpur merah (*Red mud*).

Jumlah limbah yang besar tersebut akan berdampak pada permasalahan lingkungan, sehingga salah satu cara pemanfaatan limbah tersebut adalah sebagai bahan tambahan pada campuran beton. Selain sebagai bahan untuk campuran beton pemanfaatan limbah tersebut diharapkan dapat untuk membantu mengatasi permasalahan lingkungan akibat dari tingginya jumlah limbah tersebut.

2. BAHAN DAN METODE

Tahapan penelitian ini disajikan dalam bentuk diagram alir, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.





Gambar 1 : Bagan alir penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak, yang dilengkapi sepenuhnya dengan fasilitas yang diperlukan untuk melakukan studi eksperimen pada material konstruksi yang digunakan pada penelitian.

2.2. Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian eksperimen dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan *red mud* dan *fly ash* terhadap berat volume dan kuat tek an pada beton normal dan variasi *red mud* yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi semen pada campuran beton normal. Limbah *red mud* dan *fly ash* yang digunakan berasal dari PT Indonesia Chemical Alumina (ICA). Penggunaan limbah sebagai bahan campuran pada beton ini selain dapat digunakan sebagai bahan substitusi semen, tetapi juga dapat manjadi salah satu cara dalam pemanfaatan limbah-limbah tersebut.

2.3. Metode Analisis

Studi ini menerapkan pendekatan penelitian kuantitatif. Pendekatan kuantitatif terdiri dari analisis data numerik yang diperoleh dari pengujian eksperimental yang dilakukan di bawah kondisi laboratorium yang terkontrol. Serangkaian spesimen uji disiapkan dan diuji untuk menghasilkan data yang diperlukan untuk verifikasi hipotesis, yang mengarah pada kesimpulan yang dapat diandalkan. Penelitian ini pada akhirnya bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan *red mud* dan *fly ash* terhadap berat volume dan kuat tekan pada beton normal, serta mengetahui variasi *red mud* dan *fly ash* yang digunakan sebagai substitusi semen pada campuran beton normal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bagian ini, akan disajikan hasil pengujian analisa material seperti semen, agregat halus, agregat kasar, air, *red mud*, dan *fly ash*. Kemudian dilanjutkan dengan hasil pengujian berat volume dan kuat tekan pada benda uji beton.

3.1. Hasil Pengujian Semen

Semen Dynamix merupakan semen yang digunakan dalam penelitian ini, yang dikenal luas karena kualitasnya yang konsisten, kinerja yang andal, dan kepatuhan terhadap standar nasional dan internasional untuk aplikasi konstruksi.

Tabel 1. Hasil Pengujian Berat Volume Semen (Mahardika, 2025)

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Volume	1.251,534	kg/m^3

Berdasarkan Tabel 1, pengujian berat volume semen rata-rata didapatkan sebesar 1.251,534 kg/m3 memenuhi syarat dengan rentang 1.100 – 1.300 kg/m3.

Tabel 2. Hasil Pengujian Berat Jenis Semen (Mahardika, 2025)

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Jenis	3,062	

Berdasarkan Tabel 2, hasil pengujian berat jenis semen didapatkan berat jenis sebesar 3,062 memenuhi syarat dengan rentang 2,85 – 3,15.

3.2. Hasil Pengujian Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir. Pengujian pada agregat halus terdiri dari pengujian berat volume, berat jenis, kadar air, kadar lumpur, kadar organik, dan analisa saringan.

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Halus (Mahardika, 2025)

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Volume	1.654,094	kg/m^3
Berat Jenis Kering Permukaan	2,619	
Absorbsi	1,071	%
Kadar Air	1,523	%
Kadar Lumpur	1,000	%
Modulus Kehalusan	2,421	

Berdasarkan Tabel 3, pengujian berat volume agregat halus didapatkan hasil sebesar 1.654,094 kg/m3, hasil tersebut memenuhi syarat dengan rentang 1.400 - 1.900 kg/m3. Hasil berat jenis agregat halus yang didapatkan sebesar 2,619 memenuhi syarat dengan rentang 1,6 - 3,3 berdasarkan SNI 1970:2008, kemudian untuk hasil absorbsi yang didapatkan sebesar 1,071% memenuhi syarat dengan hasil < 3%. Hasil kadar air agregat halus didapatkan sebesar 1,523%

memenuhi syarat dengan hasil < 6,5% berdasarkan SNI 03-2834-2000. Hasil kadar lumpur agregat halus didapatkan sebesar 1% memenuhi syarat dengan hasil < 5%. Hasil analisa saringan agregat halus didapatkan fine modulus sebesar 2,421 menunjukan bahwa gradasi agregat halus (pasir) termasuk dalam kriteria agregat berbutir sedang berdasarkan SNI 03 2847-2002.

3.3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar pada campuran beton dapat berupa kerikil maupun batu pecah. Pada penelitian ini agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah. Batu pecah merupakan agregat kasar yang didapatkan dari memecahkan batu-batu baik dengan cara manual ataupun dengan mesin pemecah batu. Hasil dari pemecahan batu tersebut akan memperoleh agregat yang mempunyai permukaan yang agak kasar dan tajam. Pengujian pada agregat kasar terdiri dari pengujian berat volume, berat jenis, kadar air, kadar lumpur, keausan, dan analisa saringan.

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat Kasar (Mahardika, 2025)

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Volume	1.448,750	kg/m^3
Berat Jenis Kering Permukaan	2,672	
Absorbsi	0,806	%
Kadar Air	0,301	%
Kadar Lumpur	0,500	%
Keausan	12,650	%
Modulus Kehalusan	4,069	

Berdasarkan Tabel 4, pengujian berat volume agregat kasar didapatkan hasil sebesar 1.448,750 kg/m3, hasil tersebut memenuhi syarat dengan hasil > 1.200 kg/m3. Hasil berat jenis agregat kasar yang didapatkan sebesar 2,672 memenuhi syarat dengan rentang 2,5-2,7 berdasarkan SNI 1971:2011, kemudian untuk hasil absorbsi yang didapatkan sebesar 0,806% memenuhi syarat dengan hasil < 2%. Hasil kadar air agregat kasar didapatkan sebesar 0,301%. Hasil kadar lumpur agregat agregat didapatkan sebesar 0,5% memenuhi syarat dengan hasil < 1%. Hasil analisa saringan agregat kasar didapatkan fine modulus sebesar 2,421. Hasil keausan agregat kasar didapatkan sebesar 12,65% memenuhi syarat dengan hasil < 27% berdasarkan SNI 03-2417-2008.

3.4. Hasil Pengujian Air

Air merupakan salah satu bahan campuran beton yang berperan penting terutama sebagai bahan yang bereaksi dengan semen dalam membentuk pasta dan berfungsi menjadi pelumas antara butiran agregat. Penggunaan air memiliki tujuan seperti untuk kemudahan dalam pekerjaan (*workability*), proses hidrasi pada semen, durabilitas beton, dan sebagai proses curing pada beton.

Tabel 5. Hasil Pengujian Densitas Air (Mahardika, 2025)

Pengujian	Hasil	Satuan
Densitas	0,985	gr/ml

Berdasarkan Tabel 5, nilai hasil untuk pengujian densitas air didapat sebesar 0,985 gr/ml dan nilai tersebut < 1,010 gr/ml maka telah memenuhi syarat berdasarkan SNI 7974-2013.

Tabel 6. Hasil Pengujian Suhu Air (Mahardika, 2025)

Pengujian	Hasil	Satuan
Suhu	30,5	°C

Berdasarkan Tabel 6, nilai hasil untuk pengujian suhu air didapat sebesar 30,5 °C dan nilai tersebut melebihi rentang suhu 20 – 25 °C maka hasil tidak memenuhi syarat berdasarkan SNI 7974-2013.

Tabel 7. Hasil Pengujian Kadar Organik Air (Mahardika, 2025)

Pengujian	Hasil	Satuan
Kadar Organik	48	ppm

Berdasarkan Tabel 7, nilai hasil untuk pengujian kadar organik air didapat sebesar 48 ppm dan nilai tersebut < 2.000 ppm maka hasil memenuhi syarat berdasarkan SNI 7974-2013.

Tabel 8. Hasil Pengujian pH Air (Mahardika, 2025)

Pengujian	Hasil	Satuan
pH	7,54	

Berdasarkan Tabel 8, nilai hasil untuk pengujian pH air didapat sebesar 7,54.

3.5. Hasil Pengujian *Red mud*

Red mud merupakan residu semi-padat dari proses penyulingan alumina dan mengandung alkalinitas tinggi, yang didalam proses tersebut biji bauksit mentah diolah dengan larutan natrium hidroksida (NaOH) pekat pada tekanan tinggi. Kandungan alakalinitas tinggi tersebut dapat mempercepat waktu pengikatan pada beton. Komposisi kandungan yang terdapat pada *red mud* terdiri dari fero oksida (Fe2O3), alumina (Al2O3), silika (SiO2), natrium oksida (Na2O), kalsium oksida (CaO), dan titanium oksida (TiO2) dalam jumlah tidak lebih dari 25%.

Tabel 9. Hasil Pengujian Berat Volume *Red mud* (Mahardika, 2025)

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Volume	1.196,111	kg/m^3

Berdasarkan Tabel 9, hasil pengujian berat volume *red mud* rata-rata didapatkan sebesar 1.196,111 kg/m^3.

Tabel 10. Hasil Pengujian Berat Jenis *Red mud* (Mahardika, 2025)

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Jenis	3,019	

Berdasarkan Tabel 10, hasil pengujian berat jenis *red mud* rata-rata didapatkan sebesar 3,019.

3.6. Hasil Pengujian *Fly ash*

Fly ash merupakan salah satu sisa dari proses pembakaran batu bara. Kandungan senyawa kimia yang terdapat pada *fly ash* batu bara antara lain silika (SiO2), alumina (Al2O3), dan fero oksida (Fe2O3), selain itu terkandung juga unsur tambahan lain seperti kalsium, karbon, dan magnesium.

Tabel 11. Hasil Pengujian Berat Volume *Fly ash* (Mahardika, 2025)

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Volume	783,659	kg/m^3

Berdasarkan Tabel 11, hasil pengujian berat volume *fly ash* rata-rata didapatkan sebesar 783,659 kg/m^3.

Tabel 12. Hasil Pengujian Berat Jenis *Fly ash* (Mahardika, 2025)

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Jenis	2,394	

Berdasarkan Tabel 12, hasil pengujian berat jenis *fly ash* rata-rata didapatkan sebesar 2,394.

3.7. Perencanaan Komposisi Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan komposisi campuran dilakukan berdasarkan SNI 7656:2012 tentang tata cara pemilihan campuran untuk beton normal. Penelitian menggunakan variasi *red mud* sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15%. Sedangkan untuk penggunaan *fly ash* sebesar 5%. Kedua limbah tersebut digunakan ke dalam campuran beton sebagai substitusi dari semen.

Tabel 13. Komposisi Campuran Beton (*Mix Design*) (Mahardika, 2025)

Material	Variasi						Satuan
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	
Semen	393,68	374,00	374,00	354,31	334,63	314,95	kg/m^3
Agregat Halus			735,53				kg/m^3
Agregat Kasar			1017,08				kg/m^3
Air			194,40				kg/m^3
Fly ash	0	15,39	0		15,39		kg/m^3
Red mud	0	0	19,41	19,41	38,81	58,22	kg/m^3

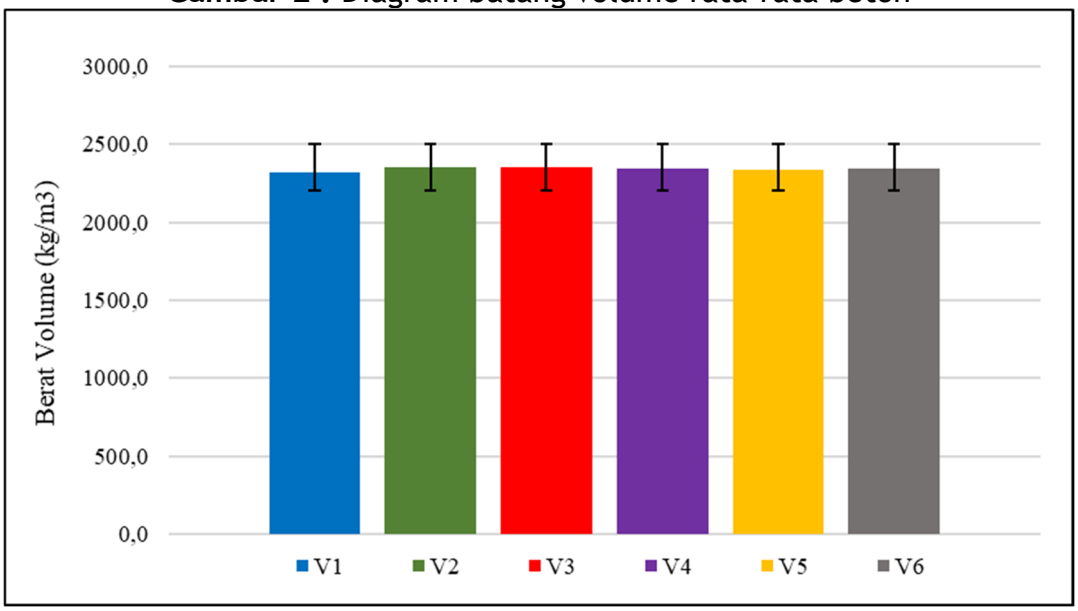
3.8. Pengujian Berat Volume Beton

Pengujian ini dilakukan menggunakan sampel silinder berukuran 10 cm x 20 cm sebanyak 3 sampel beton. Hasil pengujian berat volume beton umur 28 hari dapat dilihat ebagai berikut.

Tabel 14. Hasil Pengujian Berat Volume Beton (Mahardika, 2025)

Variasi	Berat Volume (kg/m^3)	Standar (kg/m^3)
V1	2.318,36	2.200 – 2.500
V2	2.353,37	
V3	2.350,19	
V4	2.345,94	
V5	2.340,64	
V6	2.342,76	

Gambar 2 . Diagram batang volume rata-rata beton



Berdasarkan Gambar 2, diagram batang hasil pengujian berat volume rata-rata umur 28 hari menunjukkan nilai berat volume rata-rata pada V2, V3, V4, dan V5 memiliki berat volume yang tidak jauh berbeda dan berdasarkan SNI 03-2847-2002, nilai berat volume yang didapatkan memenuhi syarat untuk kategori beton normal dengan rentang berat volume 2.200-2.500 kg/m^3. Hasil berat volume rata-rata V2 memiliki hasil berat volume terbesar dan nilai berat volume rata-rata V1 menjadi hasil berat volume terkecil, hal tersebut kemungkinan terjadi kesalahan pada pembuatan sampel beton.

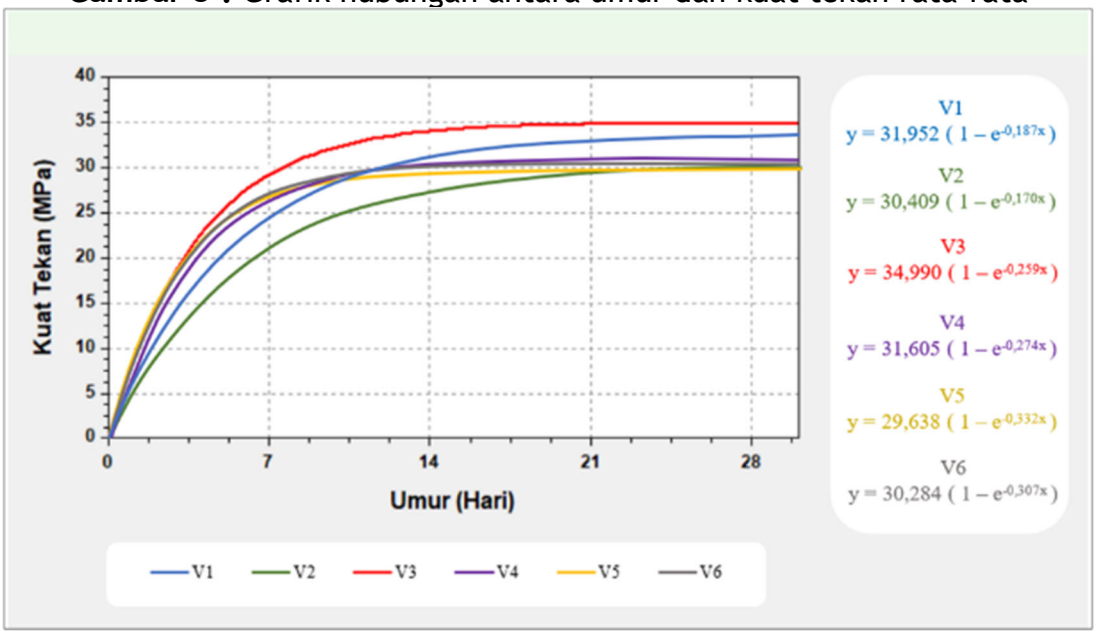
3.9. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton normal dilakukan mengikuti standar acuan SNI 1974:2011. Beton diuji pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari dengan pengujian tiap umurnya berjumlah 3 sampel dan ukuran silinder yang digunakan adalah 10 x 20 cm.

Tabel 15. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton (Mahardika, 2025)

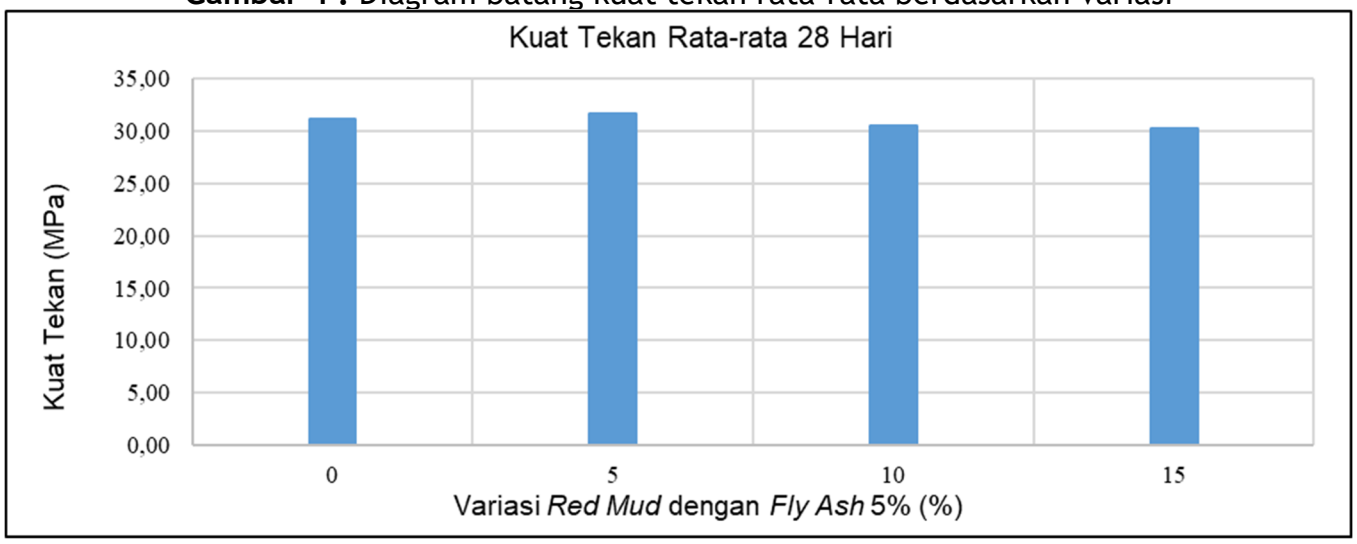
Variasi	Kuat Tekan (MPa)		
	7	14	28
V1	26,101	26,526	33,529
V2	22,282	25,677	31,194
V3	29,603	33,104	35,651
V4	22,918	30,876	31,619
V5	26,950	28,223	30,558
V6	26,738	29,921	30,239

Gambar 3 . Grafik hubungan antara umur dan kuat tekan rata-rata



Berdasarkan Gambar 3, kuat tekan tertinggi berdasarkan grafik curve expert tersebut terdapat pada V3 dan menurun pada V2 di umur benda uji 28 hari.

Gambar 4 . Diagram batang kuat tekan rata-rata berdasarkan variasi



Berdasarkan Gambar 4, diagram batang hubungan antara variasi *red mud* dengan *fly ash* terhadap kuat tekan rata-rata didapat nilai kuat tekan hanya mengalami perubahan sebesar 5,7% - 9,8% dari V1, maka tidak mengalami perubahan yang signifikan, mulai dari hubungan variasi *red mud* 0% dan *fly ash* 5% didapatkan hasil kuat tekan sebesar 31,194 MPa, kemudian hubungan variasi *red mud* 5% dan *fly ash* 5% menjadi hasil tertinggi dengan kuat tekan 31,619 MPa, dan hubungan variasi *red mud* 15% dan *fly ash* 5% menjadi hasil terkecil dengan kuat tekan sebesar 30,239 MPa. Penggunaan *fly ash* pada campuran sebagai substitusi semen juga berpengaruh terhadap hasil kuat tekan yang didapatkan, terutama berdasarkan jurnal terdahulu mengatakan bahwa *fly ash* memiliki reaksi pozzolanik yang lambat, sehingga kuat tekan beton pada umur 28 hari belum maksimal dan dapat mencapai kekuatan maksimal atau kenaikan kekuatan pada umur 56 hari.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian berat volume yang didapat berada pada rentang 2.318,36 kg/m^3 – 2.350,19 kg/m^3. Berdasarkan nilai kuat tekan rata-rata menunjukkan penggunaan *red mud* dan *fly ash* yaitu variasi 4 (V4) dengan kandungan *red mud* 5% dan *fly ash* 5% memiliki kuat tekan rata-rata tertinggi sebesar 31,619 MPa. Berdasarkan hasil pengujian berat volume dan kuat tekan dapat disimpulkan bahwa penggunaan *red mud* dan *fly ash* memberikan pengaruh terhadap berat volume dan kuat tekan pada beton normal. Hasil variasi optimum tidak dapat ditentukan karena hasil kuat tekan setiap variasi *red mud* memiliki kuat tekan yang tidak jauh berbeda, namun untuk hasil kuat tekan tertinggi didapat pada V4 dengan *fly ash* 5% dan *red mud* 5% dengan kuat tekan sebesar 31,619 Mpa.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. Idris, Trisnawathy, Hisbullah, and I. Yusril, "Kuat Tekan Beton dengan Penambahan *Fly ash* Batu Bara sebagai Pengganti Sebagian Semen," pp. 1–5, Apr. 2023.
[2] Suhaimi and Mujibullah, "VARIASI PENAMBAHAN *FLY ASH* TERHADAP KUAT TEKAN BETON," Jan. 2020.
[3] A. Salsabila, F. Politeknik, and N. Bengkalis, "PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH* SEBAGAI SUBSTISUSI SEMEN DAN BOTTOM ASH SEBAGAI SUBSTITUSI PASIR PADA BETON 20 MPA DENGAN METODE KERING," Sep. 2023.
[4] H. Ashad, S. Supardi, A. Mappiasse, A. Muh Ikram Zhahir, and D. Prabowo Surya, "Pemanfaatan Limbah Pembakaran Batu Bara sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen," 2020.
[5] Y. E. Saputri, D. Despa, and H. Wardono, "Prosiding Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP) Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP) PENGARUH *FLY ASH* TERHADAP KEKUATAN BETON," 2023.
[6] I. Komang, A. Y. Paramita[1], and R. S. E. Tamburaka[2], "PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* (ABU TERBANG) PADA CAMPURAN BETON CURING DENGAN SUHU 80°C (SELAMA 12 JAM) DI TINJAU DARI KUAT TEKAN BETON," 2019. [Online]. Available: http://ojs.uho.ac.id/index.php/MedKons/
[7] W. Rossalina, T. A. Zaharah, and I. H. Silalahi, "KOMPOSISI UNSUR DAN KARAKTERISASI MINERAL MAGNETIK DALAM *RED MUD*, RESIDU BAUKSIT DI PT. INDONESIA CHEMICAL ALUMINA (ICA) KALIMANTAN BARAT," pp. 139–144, 2021, Accessed: Oct. 27, 2024. [Online]. Available: http://jurnal.untan.ac.id/index.php/IJoPAC
[8] C. Venkatesh, M. Chand, and R. Nerella, "A State of the Art on *Red mud* as a Substitutional Cementitious Material," *Annales de Chimie - Science des Matériaux*, vol. 43, no. 2, pp. 99–103, Jul. 2019, doi: 10.18280/acsm.430206.
[9] S. P. F. Utama Dewi, "ANALISA PENAMBAHAN BOTTOM ASH TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON," vol. Vol.02,No.2 Juli2021, pp. 31–45, 2021, Accessed: Oct. 13, 2024. [Online]. Available: https://ejurnal.teknokrat.ac.id/index.php/jice
[10] A. Arman, "Kajian Kuat Tekan Beton Normal Menggunakan Standar SNI 7656-2012 Dan ASTM C 136-06," vol. Vol.I No.2 Juni 2018, pp. 142–148, 2018, Accessed: Oct. 13, 2024. [Online]. Available: http://joernal.umsb.ac.id/index.php/RANGTEKNIKJOURNAL
[11] C. Venkatesh, R. Nerella, and M. S. R. Chand, "Role of *red mud* as a cementing material in concrete: a comprehensive study on durability behavior," *Innovative Infrastructure Solutions*, vol. 6, no. 1, pp. 1–13, Mar. 2021, doi: 10.1007/s41062-020-00371-2.
[12] M. Darmawan *et al.*, "PENAMBAHAN *FLY ASH* SEBAGAI BAHAN CAMPURAN BETON NORMAL," Balikpapan, 2019.

[13] R. Fitri Febrianti, T. Anita Zaharah, A. Jurusan Kimia, and F. Unversitas Tanjungpura, "SINTESIS ZEOLIT A BERBAHAN DASAR ABU TERBANG (*FLY ASH*) LIMBAH PT. INDONESIA CHEMICAL ALUMINA (ICA) MENGGUNAKAN METODE ALKALI HIDROTERMAL (SYNTHESIS OF ZEOLITE A BASE ON *FLY ASH* WASTE PT. INDONESIA CHEMICAL ALUMINA (ICA) USING HYDROTHERMAL ALKALINE METHOD)," Pontianak, 2022. [Online]. Available: http://jurnal.untan.ac.id/index.php/IJoPAC

[14] Y. E. Saputri[a] *et al.*, "Prosiding Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP) Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP) PENGARUH *FLY ASH* TERHADAP KEKUATAN BETON," Bandar Lampung, 2023. Accessed: Oct. 12, 2024. [Online]. Available: snip.eng.uni la.ac. id

[15] B. S. Nasional, "SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung," 2019, Accessed: Oct. 13, 2024. [Online]. Available: www.bsn.go.id