



## **PENGARUH SUBSTITUSI VARIASI FLY ASH TERHADAP KUAT TEKAN BATA RINGAN *FOAM AGENT* CLC (*CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE*)**

Chelsea\*<sup>1</sup>, Erwin Sutandar<sup>2</sup>, Asep Supriyadi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universitas Tanjungpura, Pontianak

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura

\*e-mail: [Chelsea03219@gmail.com](mailto:Chelsea03219@gmail.com)

**ABSTRACT:** *The West Kalimantan region is dominated by low-bearing capacity peatlands and soft soils, which means that heavy construction loads have the potential to cause significant land subsidence and building cracking. Therefore, lighter structural solutions are needed to reduce the load on the ground. One alternative is the use of CLC (Cellular Lightweight Concrete) bricks, which are made from a mixture of cement, sand, water, and foam agent as the main construction material. The research method used experimental studies at the Materials and Construction Laboratory of Tanjungpura University. The results of this study show that fly ash substitution increases the compressive strength of lightweight bricks by 9,218% at a substitution variation of 4%; 18,244% at a variation of 8%; 29,036% at a variation of 12%; and then decreased again but remained higher by 3,765% at a variation of 17%. The optimum substitution was found to be 9.5% fly ash. This type of fly ash substitution has been proven to improve the performance of CLC lightweight bricks.*

**Keywords:** *Fly ash; CLC lightweight brick; Compressive strength; Optimum variation*

**ABSTRAK:** *Wilayah Kalimantan Barat didominasi oleh lahan gambut dan tanah lunak dengan daya dukung rendah, sehingga beban konstruksi yang besar berpotensi menyebabkan penurunan tanah signifikan dan risiko keretakan bangunan. Oleh karena itu, diperlukan solusi struktural yang lebih ringan guna mengurangi beban terhadap tanah. Salah satu alternatifnya adalah penerapan bata ringan CLC (Cellular Lightweight Concrete) yang terbuat dari campuran semen, pasir, air, dan foam agent sebagai material utama konstruksi. Metode penelitian menggunakan studi eksperimental di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Tanjungpura, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa substitusi fly ash meningkatkan kuat tekan bata ringan sebesar 9,218% pada variasi 4% substitusi; 18,244% pada variasi 8%; 29,036% pada variasi 12%; dan kembali mengalami penurunan namun tetap lebih tinggi sebesar 3,765% pada variasi 17%. Substitusi optimum terjadi pada penambahan 9,5% fly ash. Substitusi fly ash jenis ini terbukti meningkatkan kinerja bata ringan CLC*

**Kata kunci:** *Abu terbang; Bata Ringan CLC; Kuat Tekan; Variasi Optimum*

## **1. PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Kondisi tanah merupakan faktor penting yang menentukan keamanan hingga kokohnya suatu bangunan yang berdiri. Permasalahan dalam bidang konstruksi terjadi ketika konstruksi harus dilakukan di atas tanah lunak atau tanah dengan daya dukung (bearing capacity) rendah. Pembangunan tersebut akan menimbulkan tegangan pori yang tidak akan segera menyusut dalam jangka waktu yang lama sehingga akan menghasilkan penurunan yang besar hingga deformasi horizontal yang kemudian menyebabkan keretakan pada bangunan (Gunawan, Hadsari, & Alibasah, 2016). Menurut Biro pusat statistik dalam

Aisamuddin, dkk (2014), tanah lunak khususnya tanah gambut di Kalimantan diperkirakan 59.805 km<sup>2</sup> dimana sepertiganya berada di Kalimantan Barat. Pada kawasan pedesaan, jenis tanah ini dimanfaatkan untuk keperluan pertanian walaupun produktifitasnya rendah namun di wilayah perkotaan tanah gambut menjadi masalah karena daya dukung-nya sangat rendah dan sifat kompresibilitasnya tinggi sehingga dapat merusak konstruksi bangunan di atasnya (Aisamuddin, Alwi, & Priadi, 2014).

Solusi alternatif dalam merancang konstruksi di tanah gambut salah satunya dengan mengurangi atau meringankan beban struktur yang dihasilkan pada konstruksi sehingga mengurangi beban terhadap tanah gambut. Pengaplikasian bata ringan menjadi pilihan untuk dinding non-struktural pada konstruksi di atas tanah gambut karena menghasilkan beban yang lebih ringan dibandingkan penggunaan bata konvensional. Metode pembuatan bata ringan yang paling umum digunakan adalah Aerated Autoclave Concrete (AAC) dan Cellular Lightweight Concrete (CLC). Pada perkembangannya banyak pengusaha bata ringan menggunakan metode CLC dikarenakan proses lebih sederhana dan ekonomis.

Produksi dan penggunaan semen yang terus-menerus tidak ramah terhadap kondisi lingkungan. Penggunaan material semen dalam industri konstruksi yang meningkat dari tahun ke tahun dan berakibat pada meningkatnya produksi gas buangan CO<sub>2</sub> di alam yang berakibat pada pembentukan efek rumah kaca (Waani & Elisabeth, 2017). Produksi semen portland menyumbang 6-8% emisi CO<sub>2</sub> global akibat proses kalsinasi batu kapur dan pembakaran bahan bakar fosil. Setiap ton semen menghasilkan 0,833 ton CO<sub>2</sub> di Indonesia. Produksi semen melibatkan dua sumber utama emisi CO<sub>2</sub> yaitu proses kimia yang tidak dapat dihindari dan pembakaran bahan bakar. Pertama, saat batu kapur (CaCO<sub>3</sub>) dipanaskan dalam proses kalsinasi untuk membentuk klinker, senyawa tersebut terurai menjadi kalsium oksida (CaO) dan melepaskan CO<sub>2</sub> secara langsung dan menyumbang sekitar 60% dari total emisi industri ini. Kedua, untuk mencapai suhu tinggi yang diperlukan (sekitar 1.450°C), industri membakar bahan bakar fosil seperti batu bara, yang menghasilkan tambahan 30–40% emisi CO<sub>2</sub>. Selain itu, proses ini juga melepaskan polutan seperti sulfur dioksida, nitrogen oksida, dan partikel debu ke atmosfer. Upaya dalam mengatasi permasalahan ini adalah penggunaan fly ash sebagai substitusi parsial penggunaan semen dalam bidang konstruksi salah satunya pada produksi bata ringan.

Penelitian terdahulu mengenai pemanfaatan abu terbang batu bara sebagai substitusi sebagian semen pada pembuatan bata ringan jenis CLC, dengan variasi penggantian semen sebesar 0%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dari berat semen. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari untuk menilai sejauh mana penambahan fly ash memengaruhi kemampuan bata ringan menahan beban tekan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan fly ash sebagai substitusi sebagian semen menurunkan berat jenis bata ringan dan tetap menghasilkan kuat tekan yang berada dalam rentang kuat tekan bata ringan pada umumnya, dengan nilai kuat tekan berturut-turut sebesar 14,361 MPa, 8,510 MPa, 8,539 MPa, 5,535 MPa, dan 5,351 MPa untuk variasi 0%, 20%, 30%, 40%, dan 50% fly ash (Rahmayanti, Bahar, & Nuklirullah, 2023). Penelitian selanjutnya dengan mensubstitusikan fly ash dengan variasi 0%, 5%, 15%, 25%, dan 35% dari volume semen pada bata beton dimana menghasilkan kuat tekan rata-rata bata beton umur 28 hari dengan variasi 0%, 5%, 15%, 25%, dan 35% adalah 1,200 MPa; 0,790 MPa; 0,657 MPa; 0,580 MPa; dan 0,518 MPa.

Penelitian ini memiliki pembatasan terhadap variable penelitian dimana hanya meneliti kuat tekan terhadap penambahan fly ash sebagai substitusi parsial pada semen. Penelitian ini menggunakan fly ash dari PLTU Bengkayang dimana komposisi kimiawi dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini (Kristian, Sutandar, & Budi, 2024; Marga Cipta, Aryanto, & Faisal, 2023):

**Tabel 1** Komposisi kimiawi *Fly ash* dari PLTU Bengkayang

Senyawa oksida	Presentase
SiO <sub>2</sub>	85,89%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,94%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,02%
SO <sub>3</sub>	12,43%
Moisture Content	6,82%

Senyawa oksida	Presentase
Loss of Ignition Analysis	24,96%

Sumber : (Marga Cipta dkk., 2023)

## 1.2. Bata Ringan CLC (*Cellular Lightweight Concrete*)

Bata ringan CLC, atau *Cellular Lightweight Concrete*, adalah jenis bata yang terbuat dari campuran semen, pasir, air, dan foam agent. SNI 8640-2018 menyebutkan bahwa bahan dasar ini harus memenuhi standar tertentu agar dapat digunakan dalam konstruksi. Bata ringan CLC memiliki kategori berat yang bervariasi, mulai dari 500 hingga 1.300 kg/m<sup>3</sup>. Kekuatan bata dapat mencapai 1,8 hingga 2 MPa. Proses pembuatannya melibatkan pencampuran bahan-bahan ini untuk menghasilkan gelembung udara yang membuat bata menjadi lebih ringan dibandingkan dengan bata konvensional. *Foam agent* ini berfungsi untuk menghasilkan gelembung sehingga bata tersebut menjadi ringan dan dapat mengapung di atas air karena berat volumenya lebih kecil bila dibandingkan dengan berat volume air yaitu kurang dari 1.000 kg/m<sup>3</sup>. Adapun persyaratan bata ringan dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**Tabel 2** Persyaratan Fisis Bata Ringan

Syarat Fisis	Satuan	Bata Struktural		Bata Nonstruktural	
		Terekspos Lingkungan (Outdoor)	Tidak Terekspos Lingkungan (Outdoor)	Terekspos Lingkungan (Outdoor)	Tidak Terekspos Lingkungan (Outdoor)
Kelas	-	IA	IB	IA	IB
Kuat tekan rata-rata, min. <sup>1</sup>	MPa	6	4		2
Kuat tekan individu, min.	MPa	5,4	3,6		1,8
Penyerapan air, maks. <sup>2</sup>	% vol	25	-	25	-
Tebal, min.	mm		98	98	73
Susut pengeringan, maks. <sup>3</sup>	%			0,2	

## 1.3. Abu Terbang (*Fly-Ash*)

Fly ash merupakan produk sampingan dari pembakaran batu bara dari PLTU yang dapat menyebabkan polusi udara. Fly ash mengandung polutan beracun sehingga PLTU wajib menyediakan fasilitas penyimpanan dan pengelolaan fly ash yang dihasilkan setelah proses pembakaran batubara (Chen dkk., 2024). Penggunaan batubara di Indonesia lebih dari 75% untuk keperluan PLTU dan terus meningkat setiap tahunnya menyebabkan permasalahan limbah fly ash yang dihasilkan perlu penanganan yang serius karena volume yang dihasilkan juga semakin meningkat (Haryadi & Suciyanti, 2018). Berdasarkan SNI 15-0302-2004, fly ash (abu terbang) didefinisikan sebagai material pozzolanik halus yang kaya akan silika dan alumina. Sifat pozzolaniknya memungkinkan material ini bereaksi dengan kalsium hidroksida dan air pada suhu ruang membentuk senyawa yang memiliki karakteristik mengikat layaknya semen. Sebagai upaya untuk mengurangi penggunaan semen serta memanfaatkan limbah industri yang berpotensi mencemari lingkungan, pendekatan substitusi fly ash pada pembuatan bata ringan CLC menjadi solusi inovatif. Penggunaan dalam campuran terbukti dapat meningkatkan sifat fisis dan mekanis bata ringan tersebut.

Berdasarkan penelitian oleh Rizky Fitri Febrianti, Titin Anita Zaharah dan Adhitiyawardman mengemukakan kandungan kimia pada limbah abu terbang (fly-ash) yang digunakan pada penelitian ini yaitu berasal dari PLTU di PT. Indonesia Chemical Alumina (ICA) terletak di Tayan Hilir, Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat. Dengan menggunakan metode analisis XRF pada fly ash ditemukan pada fly ash tersebut tergolong dalam kelas F dengan komposisi sebagai berikut:

**Tabel 3** Analisis XRF pada *fly-ash*

Senyawa oksida	Presentase	Senyawa oksida	Presentase
MgO	1,795%	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,055%

Senyawa oksida	Presentase	Senyawa oksida	Presentase
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,653%	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,028%
SiO <sub>2</sub>	48,055%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,098%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,663%	MnO	0,109%
SO <sub>3</sub>	2,972%	NiO	0,038%
K <sub>2</sub> O	2,404%	CuO	0,015%
CaO	6,432%	ZnO	0,055%
TiO <sub>2</sub>	1,801%		

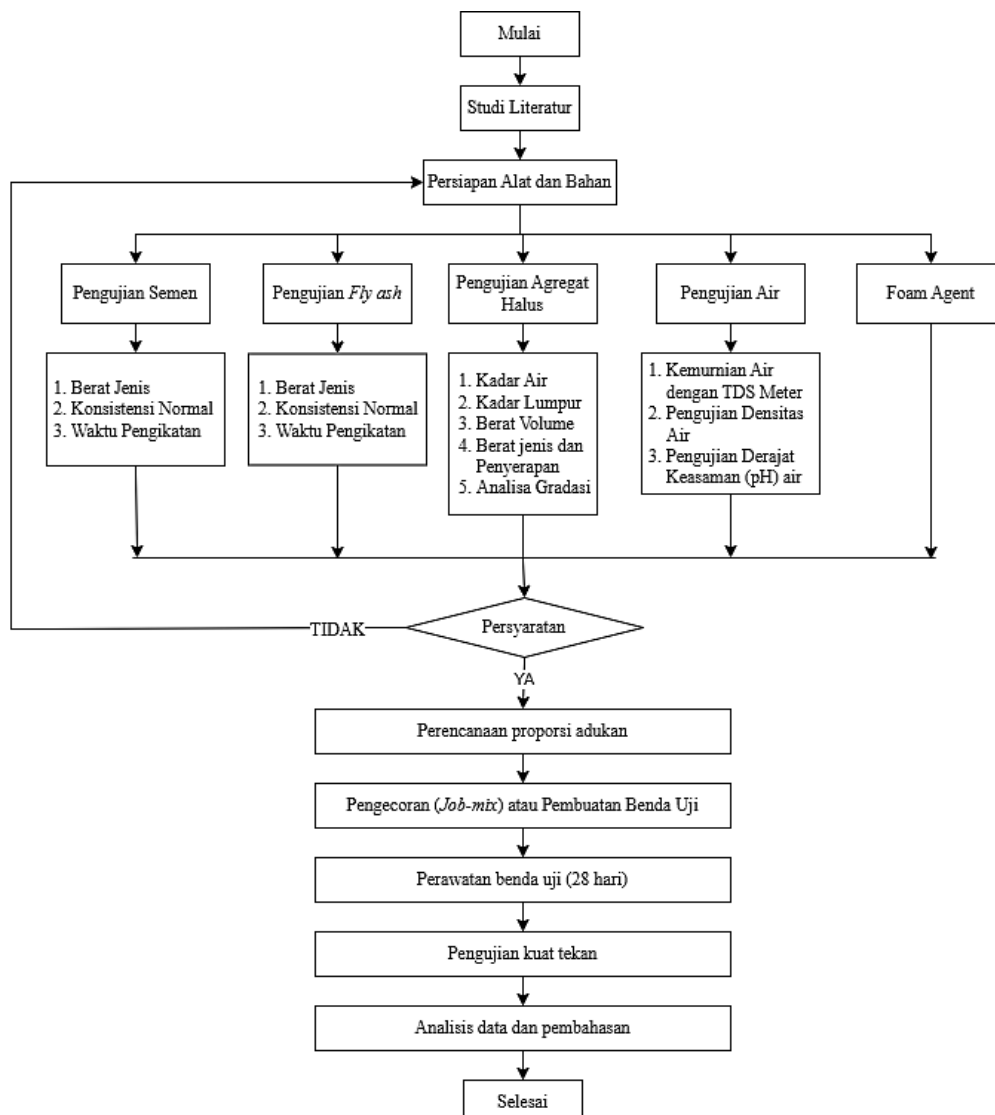
Sumber : Febrianti, Zahara, & Adhityawarman (2022)

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan dan Konstruksi Universitas Tanjungpura.

### 2.1. Diagram Alir Penelitian

Adapun tahapan dalam pelaksanaan penelitian adalah :



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

1. Studi Literatur
2. Persiapan Material Penelitian
  - a. Semen : Semen Merk *Dynamix*,
  - b. *Fly ash* : *fly ash* yang digunakan berasal dari PLTU di PT. Indonesia Chemical Alumina (ICA) terletak di Tayan Hilir, Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat,
  - c. Agregat Halus : pasir yang berada di Laboratorium Teknologi Bahan dan Konstruksi Universitas Tanjungpura,
  - d. Air : air yang berasal dari Laboratorium Teknologi Bahan dan Konstruksi Universitas Tanjungpura,
  - e. Foam Agent

## 2.2. Pemeriksaan Bahan

Prosedur pemeriksaan mengikuti ketentuan dari ACI dan ASTM dimana ketentuan-ketentuan untuk material, yaitu semen diatur dalam ASTM C150/C150M; agregat diatur dalam ASTM C33/C33M; air dalam ASTM C1602/C1062M; dan *fly ash* memenuhi persyaratan SNI 03-4804-1998.

**Tabel 4** Pengujian Material

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai Baku	Satuan	Persyaratan
Berat jenis semen	ASTM C 188	2,8 – 3,15	gr/cm <sup>3</sup>	ASTM C 150 dan SNI 15-2049-2015
Konsistensi normal	ASTM C 187	22-32	-	
Waktu ikat semen	ASTM C 191	60 – 330	menit	
Berat jenis <i>fly ash</i>	ASTM C 188	2,4 – 2,5	kg/m <sup>3</sup>	SNI 03-4804-1998
Berat volume <i>fly ash</i>		540 - 860	kg/m <sup>3</sup>	
Konsistensi normal	ASTM C 187	22-32	%	
Waktu ikat <i>fly ash</i>	ASTM C 191	± 530	menit	
Kadar air pasir	ASTM C 566	0 - 10	%	
Berat volume pasir	ASTM C 29/C29 M	1280 – 1920	kg/m <sup>3</sup>	ACI Education Bulletin E1-07
Berat jenis dan absorpsi pasir	ASTM C 128	2,3 – 2,9	%	
Analisa gradasi pasir	ASTM C 136/C136M	1,5 – 3,8		ASTM C 33
Suhu	ASTM C 1602			ASTM C 1602
Kadar Organik		0 - 2000	ppm	
pH air		6 - 8		BS.3148-80

## 2.3. Perencanaan Proporsi Campuran (*mix design*)

Apabila material telah memenuhi persyaratan, selanjutnya menentukan proporsi campuran bata ringan CLC. Perbandingan volume bahan penyusun bata ringan adalah 1:1 dengan persentase komposisi sebagai berikut:

**Tabel 5** Komposisi Campuran

Material	0%	4%	8%	12%	17%	Satuan
<i>Fly ash</i>	0	12	24	36	51	Kg/m <sup>3</sup>
Semen	300	288	276	264	249	Kg/m <sup>3</sup>
Pasir			350			Kg/m <sup>3</sup>
Air (50% dari berat semen)			150			Kg/m <sup>3</sup>

## 2.4. Perencanaan Proporsi Campuran (*mix design*)

Apabila material telah memenuhi persyaratan, selanjutnya menentukan proporsi campuran bata ringan CLC. Perbandingan volume bahan penyusun bata ringan adalah 1:1 dengan persentase komposisi sebagai berikut:

**Tabel 6** Jumlah Benda Uji

Umur Benda Uji (hari)	Variasi Penambahan <i>Fly Ash</i>				
	0%	4%	8%	12%	17%
14	3	3	3	3	3

Umur Benda Uji (hari)	Variasi Penambahan Fly Ash				
	0%	4%	8%	12%	17%
21	3	3	3	3	3
28	3	3	3	3	3

Berikut langkah-langkah pada tahapan pecampuran rancangan bata ringan CLC :

1. Menyiapkan peralatan yang diperlukan, seperti cetakan dan wadah.
2. Menimbang semen, pasir, *fly ash*, dan air sesuai dengan komposisi rancangan.
3. Menyiapkan perangkat pembuat busa (*foam agent*), yaitu *air compressor* dan *foam generator*.
4. Membuat larutan busa dengan mencampurkan air dan *foam agent* (perbandingan 40:1). Siapkan 10 liter air dan 250 ml larutan *foam agent*.
5. Menuangkan air yang telah disiapkan ke dalam wadah pengaduk.
6. Memasukkan semen dan *fly ash* ke dalam wadah, kemudian mengaduknya menggunakan *hand mixer*.
7. Menambahkan pasir sesuai komposisi ke dalam campuran, lalu mengaduknya kembali dengan *hand mixer*.
8. Menyalakan *air compressor* dan *foam generator*, lalu membiarkannya memproses larutan *foam agent* hingga menghasilkan busa.
9. Mencampurkan busa yang telah terbentuk ke dalam adonan, kemudian mengaduknya perlahan dengan *hand mixer* hingga merata.
10. Menuangkan adonan yang sudah siap ke dalam cetakan.
11. Mendinginkan sampel dalam cetakan selama 24 jam untuk mencegah kerusakan atau retak saat dilepaskan.
12. Setelah dikeluarkan dari cetakan, bata ringan dilanjutkan ke tahap perawatan (*curing*).

## 2.5. Pengujian Kuat Tekan Benda Uji

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan cara memberikan beban pada bata ringan untuk mengetahui gaya tekan yang dapat ditahan oleh bata ringan tersebut. Kuat tekan benda uji adalah perbandingan beban maksimum yang dapat ditahan benda uji dibagi dengan luas penampang yang menerima beban dan salah satu tolak ukur dalam kualitas bata ringan. Berdasarkan SNI 03-1974-2011 kuat tekan dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Dimana:

$\sigma$  = Kuat tekan ( $\text{kg/m}^2$ )

P = Gaya maksimum (kg)

A = Luas permukaan benda uji ( $\text{cm}^2$ )

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Pengujian Material

Tabel 7 Hasil Pengujian Material

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Jenis Semen	3,033	$\text{kg/m}^3$
Berat Volume Semen	1,162	$\text{kg/m}^3$
Konsistensi Normal	26	%
Waktu Ikat	200	Menit
Berat Jenis Fly Ash	2,394	$\text{kg/m}^3$
Berat Volume Fly Ash	783,659	$\text{kg/m}^3$
Konsistensi Normal	60	%
Waktu Ikat Fly Ash	270	Menit

Pengujian	Hasil	Satuan
Kadar Air Pasir	1,071	%
Berat Volume Pasir	1,507	kg/m <sup>3</sup>
Berat Jenis Pasir	2,562	
Absorpsi Pasir	0,837	%
Analisa Gradasi Pasir	<b>Tabel 8</b>	
pH	7	
Kadar Organik	48	ppm
Suhu	29	°C

**Tabel 8** Analisis Gradasi Pasir

Ukuran Saringan, %	% Lolos Sampel	Spesifikasi Pasir Sedang
9,500	100,000	100 – 100
4,750	100,000	90 – 100
2,380	99,580	75 – 100
1,180	72,620	55 – 90
0,590	41,800	35 – 59
0,295	12,740	9 – 30
0,150	4,100	0 – 10
PAN	0,000	

Pada pengujian material yang disajikan dalam **Tabel 7** dan berdasarkan ketentuan pada **Tabel 2** dapat dinyatakan bahwa material-material yang digunakan telah memenuhi ketentuan-ketentuan yang telah ditentukan. Demikian buat benda uji sesuai dengan perancangan *mix-design* bata ringan CLC berdasarkan **Tabel 5**.

### 3.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan

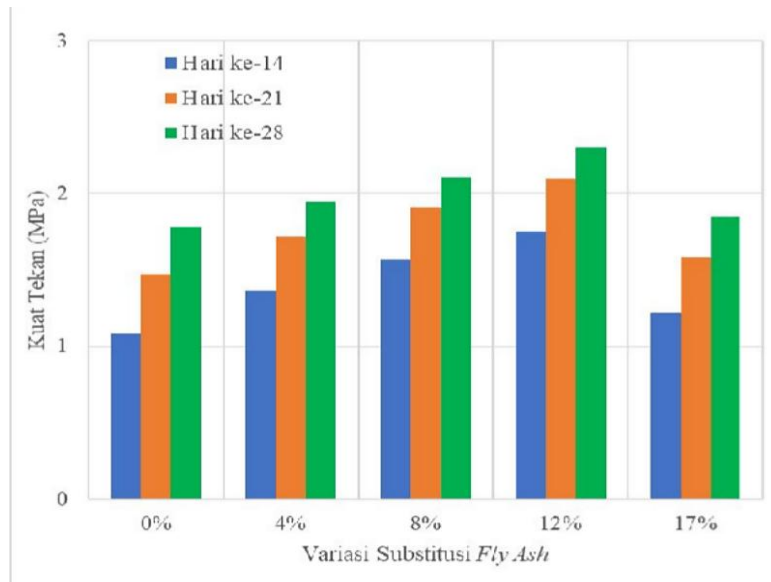
Setelah mendapatkan nilai pembebanan maka dilakukan perhitungan nilai kuat tekan masing-masing sampel benda uji pada umur beton ke-14, 21, dan 28 hari. Hasil perhitungan nilai kuat tekan bata disajikan dalam **Tabel 9** berikut:

**Tabel 9** Analisis Gradasi Pasir

Umur Benda Uji (hari)	Variasi Penambahan Fly Ash, %				
	0	4	8	12	17
14	1,085 MPa	1,361 MPa	1,571 Mpa	1,749 Mpa	1,218 Mpa
21	1,471 MPa	1,714 MPa	1,908 Mpa	2,100 Mpa	1,584 Mpa
28	1,780 MPa	1,944 Mpa	2,105 Mpa	2,297 Mpa	1,847 Mpa

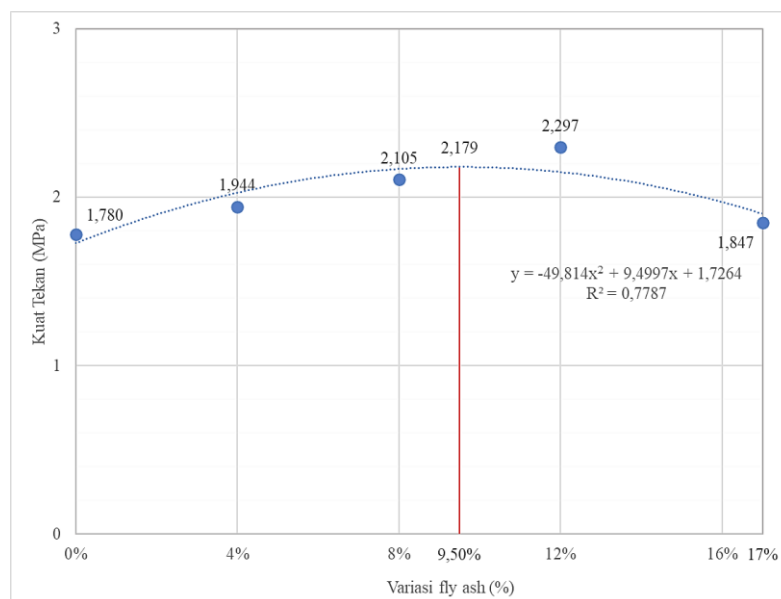
Persyaratan kuat tekan maksimum bata non-struktural pada Tabel 2 dinyatakan sebesar 1,8 MPa dan berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 9 menunjukkan nilai kuat tekan bata ringan CLC pada variasi 0% substitusi fly ash menghasilkan nilai 1,780 MPa, hasil kuat tekan tersebut memenuhi persyaratan bata ringan non-struktural dan menjadi acuan benda uji tanpa fly ash. Hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan kuat tekan bata ringan CLC sejalan dengan semakin banyak substitusi fly ash sebagai bahan pengganti semen, kecuali pada substitusi sebanyak 17%. Hasil ini memiliki pola perkembangan kuat tekan yang berbeda dengan penelitian sebelumnya dimana terjadi penurunan pada substitusi fly ash dengan jenis fly ash yang berbeda. Perbedaan hasil pengujian kuat tekan antara penelitian ini dengan penelitian terdahulu disebabkan oleh perbedaan karakteristik kimia dan fisika fly ash yang digunakan. Berdasarkan data laboratorium, fly ash pada penelitian terdahulu memiliki kandungan Sulfur Trioksida (SO<sub>3</sub>) sebesar 9,02% dan nilai hilang pijar (LOI) yang sangat tinggi mencapai 24,96%. Kadar SO<sub>3</sub> yang melebihi batas standar ASTM C618 (maks. 5%) berpotensi menyebabkan reaksi ekspansif yang merusak mikrostruktur beton atau bata ringan, sementara

tingginya nilai LOI mengindikasikan banyaknya kandungan karbon tak terbakar yang bersifat menyerap air dan menjadi titik lemah dalam kandungan beton atau bata ringan tersebut. Kedua faktor ini berkontribusi terhadap penurunan kuat tekan seiring bertambahnya substitusi fly ash. Sebaliknya, fly ash yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kualitas yang lebih baik dengan kadar  $SO_3$  yang rendah dan komposisi oksida utama yang lebih seimbang, sehingga reaksi pozzolanik dapat berlangsung optimal hingga titik substitusi tertentu sebelum akhirnya mengalami penurunan.



**Gambar 2** Kuat tekan bata ringan CLC dengan substitusi fly ash

Titik penurunan terjadi pada substitusi fly ash sebesar 17% sehingga didapat variasi optimum penambahan fly ash terjadi pada Gambar 3 diperoleh persamaan polinomial ordo 2 dimana y adalah kuat tekan dan x adalah variasi fly ash maka berdasarkan data analisis dapat indentifikasi persamaan untuk mencari (x) variasi fly ash terbaik. Variasi substitusi fly ash optimum terdapat di variasi 9,5% dengan prediksi kuat tekan dihasilkan sebesar 2,179 MPa yang dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3** Variasi optimum substitusi fly ash

## 4. KESIMPULAN

Substitusi fly ash pada produksi bata ringan CLC terbukti mempengaruhi kuat tekan yang dihasilkan pada umur ke-28 hari. Pola perkembangan kuat tekan tersebut dipengaruhi oleh komposisi penyusun fly ash dimana fly ash yang digunakan atau yang berasal dari PLTU di PT. Indonesia Chemical Alumina (ICA) terletak di Tayan Hilir, Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat memiliki komposisi yang dapat memperbaiki kinerja bata ringan CLC dengan variasi optimum pada substitusi sebesar 9,5%. Penelitian ini diharapkan menjadi landasan untuk penelitian selanjutnya dengan jenis fly ash yang sama dan menjadi rekomendasi untuk praktisi lapangan atau produsen bata ringan dalam menentukan dosis substitusi fly ash dengan jenis dan asal yang sama

## DAFTAR PUSTAKA

- Aisamuddin, G., Alwi, A., & Priadi, E. (2014). Studi Daya Dukung Pondasi Kolom-Semen Pada Tanah Lunak Di Kota Pontianak. *JeLAST : Jurnal Teknik Kelautan, PWK, Sipil, dan Tambang*, 2(2).
- Badan Standardisasi Nasional. (2018). SNI 8640:2018 Spesifikasi bata ringan untuk pasangan dinding. Indonesia.
- Chen, Y., Fan, Y., Huang, Y., Liao, X., Xu, W., & Zhang, T. (2024). A comprehensive review of toxicity of coal fly ash and its leachate in the ecosystem. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 269, 115905.
- Febrianti, R. F., Zahara, T. A., & Adhitiyawarman, A. (2022). Sintesis Zeolit 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). *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*, 5(1), 28–39.
- Gunawan, S., Hadsari, V., & Alibasah, M. (2016). Pemodelan pondasi dangkal pada tanah lunak dengan perkuatan cerucuk kayu dan ban bekas.
- Haryadi, H., & Suciyanti, M. (2018). Analisis perkiraan kebutuhan batubara untuk industri domestik tahun 2020-2035 dalam mendukung kebijakan domestic market obligation dan kebijakan energi Nasional. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 14(1), 59–73.
- Kristian, A., Sutandar, E., & Budi, G. S. (2024). Pengaruh Fly Ash PLTU Bengkayang terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Bata Beton. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 8(1), 21–30.
- Marga Cipta, R., Aryanto, & Faisal. (2023). Studi Pengaruh Limbah PLTU Bengkayang ( Fly Ash ) Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Beton Rpc. *JeLAST : Jurnal Teknik Kelautan, PWK, Sipil, dan Tambang*, 10(3).
- Rahmayanti, R., Bahar, F. F., & Nuklirullah, M. (2023). Pemanfaatan dan Pengaruh Fly Ash Batu Bara Sebagai Substitusi Sebagian Semen Terhadap Nilai Kuat Tekan Bata Ringan Jenis Cellular Lightweight Concrete (CLC). *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 218–228.
- Waani, J. E., & Elisabeth, L. (2017). Substitusi material pozolan terhadap semen pada kinerja campuran semen. *Jurnal teknik sipil : Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 24(3), 237–245. <https://doi.org/10.5614/jts.2017.24.3.7>