

## STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH SUBSTITUSI FABA TERHADAP KUAT TEKAN DAN DURABILITAS BETON

Alamsyah<sup>1)</sup>, Vilna Shavira<sup>2)</sup>, Marzylina<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bengkalis  
E-mail: alamsyah@polbeng.ac.id

### Abstract

Fly ash and bottom ash (FABA) are abundant by-products of coal combustion that often present significant waste management challenges. FABA contains pozzolanic properties, which have the potential to enhance concrete performance. This study evaluates the utilization of treated FABA as a partial cement replacement in concrete mixtures at varying proportions of 3%, 6%, 9%, and 12%, focusing on compressive strength, porosity, and chloride ion permeability. The Rapid Chloride Permeability Test (RCPT), conducted in accordance with ASTM C1202 standards, was used to assess the concrete's permeability. The results demonstrate that incorporating FABA into the concrete mix significantly improves the concrete's quality, particularly regarding resistance to chloride ion penetration and reduced porosity. The concrete containing 6% FABA performed best among the various mix proportions tested, achieving the lowest RCPT values and porosity.

**Keywords:** *fly ash bottom ash (FABA), compressive strength, porosity, rapid chloride permeability test (RCPT)*

### PENDAHULUAN

Indonesia memiliki kekayaan sumber daya alam yang besar salah satunya batu bara. Produksi tahun 2023 sampai 775 juta ton dengan rincian 213 juta ton untuk penggunaan dalam negeri dan selebihnya untuk ekspor. Penggunaan batu bara dalam negeri paling banyak pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dimana hasil pembakarannya menghasilkan limbah berupa *fly ash* dan *bottom ash* (FABA). FABA yang dihasilkan dari pembakaran batu bara ini merupakan limbah yang jumlahnya sangat signifikan. Dumai, sebagai kota industri menghasilkan FABA 30-40ton perhari untuk satu perusahaan. Keberadaan sembilan industri yang beroperasi di Kota Dumai menghasilkan limbah FABA sekitar 270-360 ton per hari. Dengan jumlah yang cukup besar ini, pemanfaatan FABA menjadi solusi yang sangat relevan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan didukung dengan adanya Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 yang menyatakan FABA bukan lagi merupakan limbah B3.

Pemanfaatan FABA yang telah diteliti dan diaplikasikan adalah dalam industri konstruksi, khususnya sebagai bahan tambahan pada material infrastruktur. Terdapat 13 variabel terkait keberlangsungan FABA sebagai material infrastruktur yang ditinjau dari

aspek ekonomi, sosial dan lingkungan yaitu biaya produksi berkurang, harga jual produk lebih murah, kualitas produk terjaga, lapangan pekerjaan meningkat, pendapatan masyarakat meningkat, kesejahteraan masyarakat meningkat, persepsi baik masyarakat, peran serta masyarakat, efisiensi sumber daya dan energi, timbunan FABA berkurang, lingkungan terjaga, merupakan produk ramah lingkungan dan mendukung program *zero waste* (Ayuningtyas dkk, 2023).

FABA dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton dan dapat meningkatkan kualitas beton itu sendiri. Hal ini dikarenakan FABA memiliki beberapa kandungan kimia yang mempunyai kemampuan *pozzolanic activity* sebagaimana pada semen seperti  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Yofani dkk, 2021). Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa penambahan FABA pada persentase tertentu dapat meningkatkan kekuatan tekan beton karena adanya reaksi tambahan dengan kandungan pozzolan tersebut.

Dengan demikian, pemanfaatan FABA dalam pembuatan beton tidak hanya menjadi solusi untuk masalah limbah, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan kualitas material konstruksi yang digunakan. Ini menjadi langkah yang signifikan dalam menciptakan industri yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan, terutama di daerah industri seperti Dumai.

## **METODE PENELITIAN**

### **Material**

Material penyusun beton normal (BN) terdiri atas semen, pasir dan kerikil dari Tanjung Balai Karimun serta air dari sumur bor Politeknik Negeri Bengkalis. Material tersebut dilakukan pengujian properties dan dilanjutkan desain komposisi campuran menggunakan SNI-03-2834-2000. Selanjutnya jumlah semen dikurangi sebagaimana persentase campuran yang dibuat seperti substitusi semen 3% dengan FABA (BS3%) maupun pada benda uji lainnya. Komposisi desain campuran seluruh benda uji dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1  
Komposisi adukan per 1 m<sup>3</sup>

Sample	Semen (kg)	Air (kg)	FABA (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)
BN	410	205	0	714,2	1006,8
BS3%	397,9	205	12,3	714,2	1006,8
BS6%	385,4	205	24,6	714,2	1006,8
BS9%	373,1	205	36,9	714,2	1006,8
BS12%	360,8	205	49,2	714,2	1006,8

FABA yang digunakan diperoleh dari PT. Dumai Jaya Beton dimana sumber utamanya dari limbah PLTU industri di Kota Dumai. Gabungan *fly ash* dan *bottom ash* dalam kondisi lembab dan bercampur ini (Gambar 1a) dilakukan *treatment* agar menjadi lebih baik untuk dijadikan sebagai pengganti semen. FABA dipanaskan dengan suhu 400<sup>0</sup> selama 4 jam dan dilanjutkan penggilingan menggunakan mesin los angeles dengan 11 bola baja. Setelah mencapai 500 putaran, FABA disaring dengan menggunakan saringan No. 100 sebagaimana hasilnya pada Gambar 1b.



Gambar 1. (a) Limbah FABA (b) FABA setelah diproses dan lolos saringan 100

### Benda uji dan pengujiannya

Pembuatan benda uji disesuaikan dengan pengujian yang dilakukan sebagaimana pada Tabel 2. Proses pengecoran dilakukan menggunakan molen (*concrete mixer*) dengan cara memasukkan material kerikil, pasir, semen dan air untuk beton normal. Pengecoran beton substitusi FABA dilakukan dengan cara yang sama namun pada proses memasukkan semen ke molen diikuti dengan FABA. Setelah adukan merata, dilakukan pengujian *slump* mengacu pada SNI 1972-2008 dan dilanjutkan memasukkan benda uji ke dalam cetakan silinder.

Tabel 2  
Benda uji dan peruntukannya

Tipe	Uji Tekan silinder 100/200	Uji porositas silinder 100/200	Uji RCPT Silinder 100/50	Jumlah
BN	3	3	3	9
BS3%	3	3	3	9
BS6%	3	3	3	9
BS9%	3	3	3	9
BS12%	3	3	3	9

Tahap selanjutnya dilakukan *curing* selama 28 hari dengan cara direndam dalam air agar proses hidrasi dapat berjalan sempurna. Pengujian tekan benda uji umur 28 hari pada silinder diameter 100 dan tinggi 200mm mengacu pada SNI 1974-2011 yang ditekan dengan *Compression machine* merk ELE kapasitas 2000 kN di Lab. Uji Bahan Politeknik Negeri Bengkalis. Untuk uji porositas ( $\rho$ ) mengacu pada ASTM C642-06, yang mana hitungannya menggunakan persamaan 1.

$$\rho = \frac{(W_{ssd} - W_{od})}{(W_{ssd} - W_w)} \times 100 \% \quad (1)$$

Dengan  $W_{ssd}$  = berat beton kering permukaan;  $W_{od}$  = berat beton kering oven;  $W_w$  = berat beton dalam air.

Selain uji tekan dan porositas, penelitian ini juga melakukan pengujian *Rapid Chloride Permeability Test* (RCPT) pada benda uji beton dengan diameter 100mm dan tebal 50mm. RCPT adalah sebuah pengujian yang digunakan untuk menilai permeabilitas beton terhadap ion klorida. Pengujian ini mengacu pada ASTM C1202 yang mana memberikan gambaran kemampuan beton dalam menahan penetrasi ion klorida yang dapat menyebabkan korosi pada baja tulangan di dalam beton bertulang. Adapun skema pengujian sebagaimana pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema pengujian RCPT

Uji RCPT dilakukan dengan menerapkan tegangan listrik sebesar 60 Volt DC dari sel positif ke sel negatif selama 6 jam. Sel positif diisi dengan larutan NaOH 0,3M, sedangkan sel negatif diisi dengan larutan NaCl 3%. Selama pengujian, arus yang mengalir dicatat setiap 30 menit selama 6 jam, yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai coulomb dengan persamaan 2.

$$Q = 900 (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{300} + 2I_{330} + I_{360}) \quad (2)$$

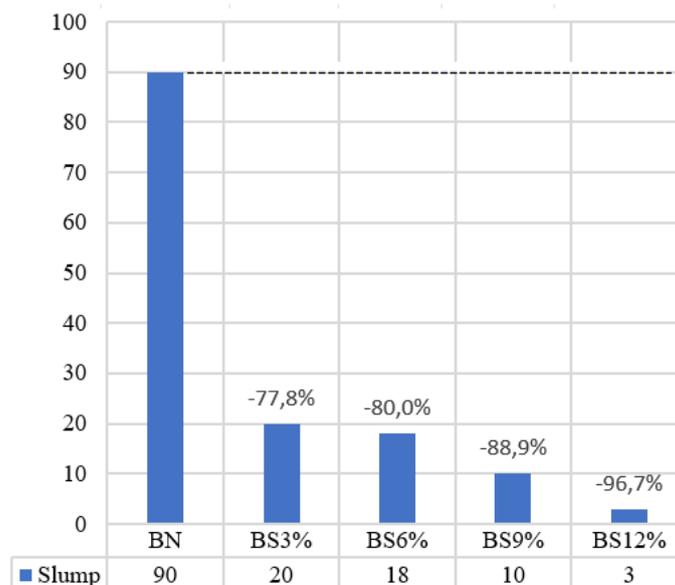
Dengan  $Q$  = nilai charge passed (Coulombs);  $I_0$  = arus (ampere) segera setelah tegangan diberikan;  $I_t$  = arus (ampere) pada saat  $t$  menit setelah tegangan diberikan. Mengacu pada Tabel 3 maka kriteria penetrasi ion klorida benda uji dapat diketahui.

**Tabel 3**  
Nilai charge passed dan kriteria penetrasi ion

Nilai <i>charge passed</i> (Coulombs)	Level penetrasi ion klorida
> 4000	Tinggi
2000-4000	Sedang
1000-2000	Rendah
100-1000	Sangat Rendah
<100	diabaikan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan pasca pengecoran benda uji mendapatkan nilai *slump* yang merupakan gambaran tingkat *workability* dari adukan beton beton.



Gambar 3. Hasil uji *Slump*

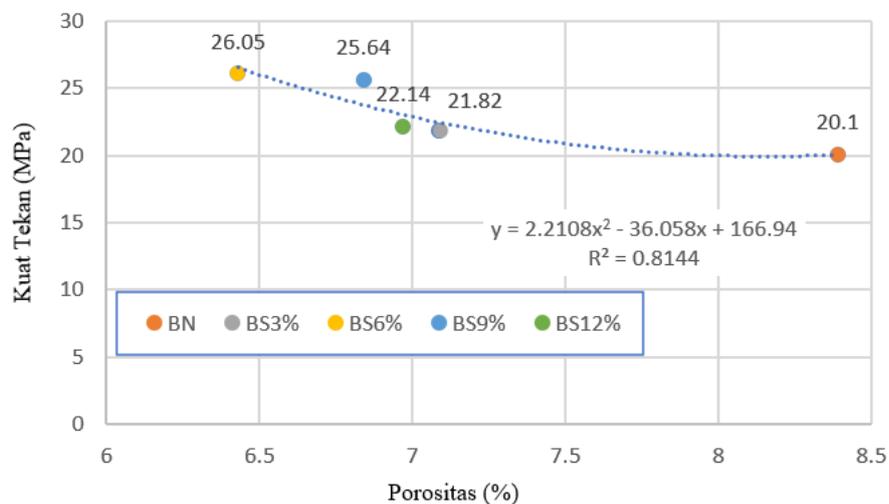
Gambar 3 menunjukkan bahwa terjadi penurunan signifikan nilai *slump* akibat adanya substitusi semen ke FABA. Hal ini karena abu FABA menyerap air lebih besar dibandingkan semen. Semakin banyak persentase FABA maka semakin rendah tingkat *workability* beton sehingga mempersulit proses pemadatan.

Pengujian kuat tekan beton maupun porositas dilakukan setelah beton menjalani *curing* selama 28 hari. Adapun hasil uji tekan dan porositas dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4  
Hasil kuat tekan dan porositas benda uji silinder

Sample	Kuat Tekan (MPa)	Porositas (%)
BN	20,1	8,39
BS3%	21,82	7,09
BS6%	26,05	6,43
BS9%	25,64	6,84
BS12%	22,14	6,97

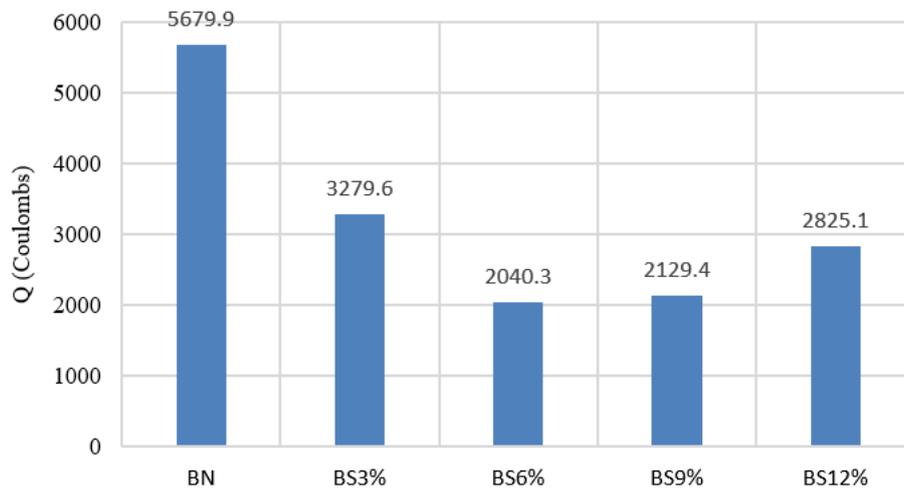
Tabel 4 menunjukkan bahwa benda uji dengan kuat tekan tinggi memiliki porositas terendah yang artinya benda uji tersebut memiliki pori-pori yang sedikit dibandingkan benda uji lain. Kuat tekan tertinggi diperoleh pada BS6% dengan peningkatan kuat tekan dan penurunan porositas berturut-turut sebesar 29,6% dan 23,38% terhadap BN.



Gambar 4. Hubungan antara kuat tekan dan porositas

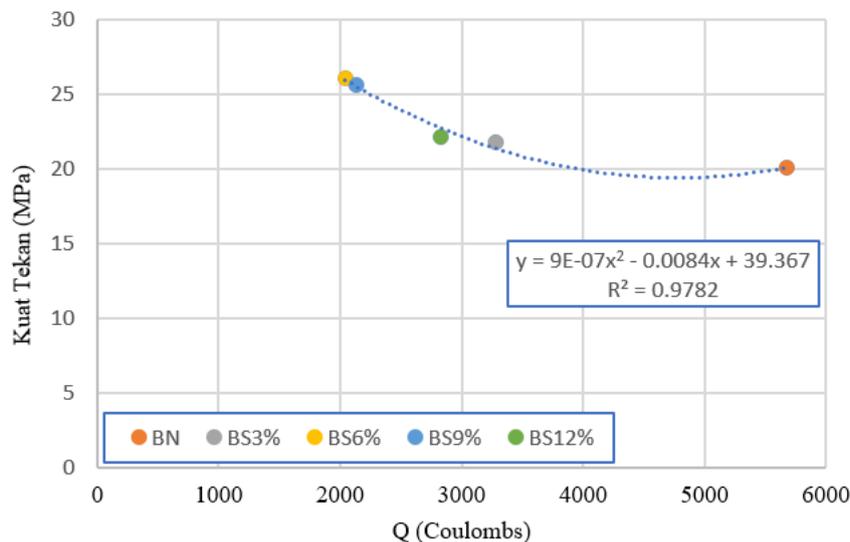
Gambar 4 memperlihatkan bahwa kuat tekan optimum terdapat pada benda uji dengan substitusi 6% FABA (BS6%). Hubungan kuat tekan dan porositas penelitian ini dapat dijadikan dalam bentuk persamaan polinomial pangkat 2 dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,8144 yang artinya porositas memiliki hubungan yang kuat dengan kuat tekan beton itu sendiri.

Nilai *charge passed* diperoleh dari RCPT pada umur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton normal (BN) memiliki nilai di atas 4000 Coulombs yang berarti beton ini mudah dipenetrasi ion klorida.



Gambar 5. Nilai RCPT beton umur 28 hari

Hasil yang ditampilkan pada Gambar 5 menunjukkan benda uji BS6% memiliki nilai 2040,3 Coulombs yang termasuk level “Sedang” untuk penetrasi ion klorida.



Gambar 6. Hubungan kuat tekan beton dan nilai RCPT

Gambar 6 memperlihatkan bahwa beton dengan kuat tekan tertinggi (BS6%) akan lebih baik dalam menghambat penetrasi ion klorida. Solikin dkk (2022) juga mendapatkan nilai RCPT terendah pada benda uji dengan kuat tekan tertinggi. Apabila beton dengan tambahan BS6% ini digunakan sebagai konstruksi beton bertulang akan

menjadi lebih awet dari pada beton dengan variasi lainnya. Hubungan antara kuat tekan dan nilai RCPT dapat dibuat dalam bentuk polinomial order 2 dengan  $R^2$  sebesar 0,9782 yang berarti hubungan yang kuat antara kuat tekan dan nilai penetrasi ion klorida.

## SIMPULAN

Substitusi semen sebesar 6% dapat meningkatkan kuat tekan beton 29,6% dan menurunkan porositas 23,38% dibandingkan beton normal. Kriteria penetrasi ion klorida berada pada level “sedang” menunjukkan beton dengan tambahan FABA lebih *durable* dibandingkan beton normal. Substitusi FABA dengan presentase besar dapat menurunkan tingkat *workability* beton sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan penambahan *superplasticizer* agar mudah pada proses pemadatan benda uji.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials. (2009). *ASTM C642-06: Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete*.
- American Society for Testing and Materials. (2012). *ASTM C1202-12: Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration*. <https://doi.org/10.1520/C1202-12.2>
- Ayuningtyas, U., Rosmeika, & Firdaus, A. (2023). Fly ash dan bottom ash sebagai material infrastruktur untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan. *Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat*. Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2000). *SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2008). *SNI 1972-2008: Cara uji slump beton*.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2011). *SNI 1974-2011: Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder*.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan*.
- Solikin, M., Setiawan, B., Nurchasanah, Y., & Prayogi, S. (2022). Analisis penetrasi ion klorida pada beton high volume fly ash mutu tinggi dengan variasi tingkat kehalusan fly ash. *Teras Jurnal*, 12(2), 1-10.
- Yofani, D. F., Olivia, M., & Wibisono, G. (2021). Kuat tekan beton geopolimer hybrid FABA dengan penambahan semen PCC. *Jom FTEKNIK*, 8, Edisi Januari 2021.