

## SIFAT MEKANIS BETON DENGAN SUBSTITUSI PARSIAL SERBUK BATU BATA PADA SEMEN PORTLAND

I Made Suparta<sup>1</sup>, I Made Alit Karyawan Salain<sup>2</sup>, dan Ngakan Made Anom Wiryasa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Udayana  
Email: [imaksalain@unud.ac.id](mailto:imaksalain@unud.ac.id)

### ABSTRAK

Limbah batu bata dalam bentuk serbuk adalah salah satu material yang bersifat pozzolan yang mengandung silika dan alumina aktif yang dapat bereaksi dengan semen. Kandungan senyawa  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  pada serbuk batu bata dari Desa Oebelo sebesar 91%. Kondisi ini, memenuhi persyaratan mutu material pozzolan menurut ASTM C618 dimana jumlah senyawa  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  minimal 70%. Berdasarkan informasi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan limbah batu bata dalam bentuk serbuk sebagai material yang bersifat pozzolan dalam campuran beton.

Penelitian tentang sifat mekanis beton dengan substitusi parsial serbuk batu bata (SBB) pada semen (SPI) dilakukan dengan menggunakan benda uji beton silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Benda uji dibuat menggunakan perbandingan perekat : pasir : batu pecah dengan perbandingan berat 1 : 2 : 3 dan faktor air perekat 0,5. Variasi prosentase substitusi SBB pada SPI: 0%, 10%, 20%, dan 30%. Gradasi butir pasir dan batu pecah dirancang menurut SNI 03-2834-2000, gradasi agregat halus pada zone 2 dan gradasi agregat kasar ukuran butir maksimum 20 mm. Pengujian sifat mekanis beton meliputi uji kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah pada umur 28, 56, dan 90 hari masing-masing menggunakan 3 buah benda uji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaksi pozzolanik serbuk batu bata sebagai material yang bersifat pozzolanik baru tampak jelas pada umur 90 hari. Perkembangan kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah ditentukan oleh prosentase substitusi parsial SBB pada SPI yang digunakan pada perekat. Penggunaan SBB dengan prosentase substitusi parsial 10% pada SPI dalam campuran beton, kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah mencapai berturut-turut sebesar 97%, 94%, dan 98% terhadap beton dengan SPI 100%. Efek pozzolanik SBB pada umur hidrasi yang panjang mampu menghasilkan kinerja beton mendekati kinerja beton tanpa campuran serbuk batu bata.

**Kata kunci:** serbuk batu bata, kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah

## MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE WITH BRICK POWDER AS A PARTIAL SUBSTITUTION OF PORTLAND CEMENT

### ABSTRACT

Waste bricks powder is pozzolan a material which contain silica and alumina activated that could react with the Portland cement (SPI). Compounds content  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  bricks powders from Desa Oebelo of 91%. The pozzolan materials pass quality specifications according to ASTM C618 where the amount of compounds  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  at least 70%. This research is to use of waste brick powder as a pozzolan material in concrete mixtures.

Research on the mechanical properties of concrete with brick powder (SBB) as a partial substitution on the Portland cement (SPI) has been realized using cylindrical specimens of diameter = 150 mm and height = 300 mm. The specimens were made by using a proportion, by weight, of 1.0 binder : 2.0 sand : 3.0 crushed stone and water binder ratio of 0.5. The binder was made by a mixture of SPI and SBB. The percentage of SBB in the binder varied: 0%, 10%, 20% and 30% by total weight of the binder. The grain distribution of sand and crushed stone were designed according to SNI 03-2834-2000 to meet respectively the gradation zone 2 for fine aggregate and the granules with a maximum diameter of 20 mm for coarse aggregate. The test of concrete mechanical properties included compressive strength, modulus of elasticity and split tensile strength and realized at the specimen's age of 28, 56, and 90 days respectively using three specimens for each test. The test result shows that the positive reaction of brick powder as a pozzolan material can only be noted after the hydration age of 90 days. The development of compressive strength, modulus of elasticity and split tensile strength depend on the percentage of SBB used in the binder. In fact, the use of 10% SBB in the binder produce compressive strength, modulus of elasticity and split tensile strength respectively about 97%, 94%, and 98% compared to those produced using 100% SPI. This interesting performance could be strongly related to the pozzolan effect of SBB on the long term of hydration.

**Keyword:** brick powder, compressive strength, modulus of elasticity, split tensile strength

## 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Usaha produksi batu bata yang tersebar di wilayah Desa Oebelo Kabupaten Kupang dikerjakan dengan proses yang sederhana, sehingga menyisakan material limbah (mencapai sekitar 30%) berupa potongan kecil dan serbuk. Tungku pembakaran yang dibuat berpindah-pindah mengakibatkan timbunan material sisa tersebar di areal tempat produksi. Hal ini menyebabkan areal aktivitas produksi semakin sempit dan menyebabkan kerusakan lingkungan. Limbah tersebut juga dapat berasal dari aktivitas konstruksi dan lokasi pengepul berupa potongan-potongan kecil. Biasanya timbunan limbah produksi dan sisa aktivitas konstruksi dibiarkan sedemikian rupa. Dengan demikian perlu adanya upaya melakukan daur ulang menjadi material bermanfaat.

Limbah batu bata dalam bentuk serbuk adalah salah satu material yang bersifat pozzolan yang mengandung silika dan alumina aktif ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yang dapat bereaksi dengan semen (Bektas, 2007). Ditinjau dari senyawa pembentuk batu bata ternyata mirip dengan material abu terbang (*fly ash*), limbah produksi metal (*slag*), dan *silicafume* yang digunakan sebagai bahan aditif bersifat semen dalam campuran beton (Bektas, 2007). Pada proses hidrasi, material tersebut dapat mempengaruhi reaksi utama pembentukan kalsium silikat hidrat (C-S-H). Efek ini mampu memperbaiki dan meningkatkan kinerja beton (Mehta and Monteiro, 2001).

Penelitian tentang pemanfaatan serbuk batu bata sebagai material yang bersifat pozzolan telah banyak dilakukan. Potensi pemanfaatan material tersebut ditentukan oleh komposisi senyawa kimia, tingkat reaktivitas, dan lokasi asal. Umumnya prosentase optimal penggunaan material tersebut berkisar antara 15% - 20% terhadap berat total perekat (Kartini, dkk, 2012).

Memperhatikan informasi yang telah diuraikan sebelumnya, dilaksanakan penelitian tentang sifat mekanis beton dengan substitusi parsial serbuk batu bata dari Desa Oebelo pada semen. Sebagai perbandingan efektivitas kinerja beton digunakan beton tanpa campuran serbuk batu bata.

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mengetahui perkembangan kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah beton dengan substitusi parsial serbuk batu bata dari Desa Oebelo pada semen dalam campuran beton.

## 2 KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian Beton

Beton merupakan material gabungan yang terdiri dari agregat, perekat dan air dengan atau tanpa zat aditif dalam perbandingan tertentu yang kemudian mengeras menjadi bentuk yang tetap. Secara umum beton menggunakan media semen sebagai bahan pengikat yang bersifat hidraulis yaitu mengeras bila dicampur dengan air. Penggunaan beton sangat populer dimasyarakat karena sejumlah alasan antara lain, beton memiliki resistensi yang baik terhadap air, mudah dibentuk, dan bahannya mudah diperoleh di lingkungan sekitar (Mehta and Monteiro, 2001).

Semen sebagai pengikat, merupakan unsur kunci pada beton walaupun komposisinya hanya 7-15%. Agregat secara volumetrik mengisi beton 61-70% yang mempunyai peran sangat penting pada sifat mekanis beton. Pada era ini, produksi beton tidak lagi terbatas pada penggunaan semen sebagai perekat, tetapi telah meluas pada pemakaian bahan yang bersifat semen (*cementitious material*) seperti *fly ash*, *Silica fume*, dan *Pozzolan* (Neville and Brook, 1987). Material tambahan ini bertujuan mengurangi emisi gas pada produksi semen dan mengurangi panas hidrasi campuran beton.

#### 2.1.1 Semen

Semen adalah perekat hidrolis yang dapat mengeras setelah dicampur dengan air, mengikat agregat dalam beton menjadi massa yang padat. Semen Portland adalah serbuk halus berwarna abu-abu yang dibuat dengan campuran bahan yang mengandung kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), dipanaskan pada suhu  $1400^\circ\text{C}$ - $1600^\circ\text{C}$  kemudian digiling, produknya disebut dengan klinker. Klinker dicampur dengan sejumlah kecil bahan yang mengandung kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) (ACI Education Buletin E13-3, 2013). Senyawa utama semen yaitu Trikalsium Silikat ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) disingkat  $\text{C}_3\text{S}$ , Dikalsium Silikat ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) disingkat  $\text{C}_2\text{S}$ , Trikalsium Aluminat ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan Tetrakalsium Aluminat ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) disingkat  $\text{C}_4\text{AF}$  dengankadar rata-rata berturut-turut sebesar 50%, 25%, 12%, dan 8% (Neville and Brook, 1987).

#### 2.1.2 Serbuk Batu Bata

Serbuk batu bata berasal dari 2 (dua) sumber yaitu dari limbah sisa hasil produksi batu bata dan limbah sisa aktivitas konstruksi yang tidak dapat dipakai. Negara-negara maju yang memiliki teknologi tinggi seperti Amerika Serikat (USA), limbah produksinya mencapai 3% sebagian besar dari produksi yang tidak memenuhi standar (Bektas, 2007). Di negara berkembang dengan proses produksi yang sederhana menghasilkan material sisa mencapai 30% dalam bentuk potongan kecil dan serbuk.

Pemanfaatan limbah batu bata dalam bentuk serbuk halus lebih dikenal sebagai semen merah, riwayat pemanfaatan yang cukup panjang dari material ini mengalami perkembangan yang pesat sebagai campuran beton. Material ini bersifat pozzolan karena mengandung senyawa  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan kadar 94,15% (Kartini dkk. 2012) Pada era ini, pengembangan beton ramah lingkungan cenderung menggunakan material yang bersifat pozzolanik pada campuran beton.

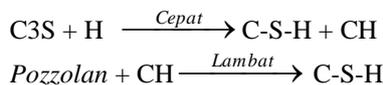
### 2.1.3 Pozzolan

Pozzolan adalah bahan yang mengandung silika amorf, apabila dicampur dengan kapur dan air akan membentuk benda padat yang keras (SNI 03-2834-1993). Menurut *ACI Education Bulletin E3-13 (2013)*, material pozzolan seperti *fly ash*, slag, dan *silica fume* memberikan manfaat pada campuran beton sebagai berikut:

1. Melestarikan lingkungan dengan berkurangnya emisi karbon akibat hidrasi semen klinker.
2. Sifat mekanik beton meningkat, stabilitas ketahanan terhadap ekspansi kapur bebas pada beton dan reaksi alkali agregat, mengurangi porositas, dan meningkatkan kepadatan.
3. Memberikan alternatif produksi beton ramah lingkungan (sustainable concrete).

Persyaratan mutu material pozzolan seperti *fly ash* menurut ASTM C618 dibedakan terhadap jumlah senyawa  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  minimal 70%.

Komposisi kimia dan kehalusan material pozzolan akan mempengaruhi reaktivitas pada proses hidrasi. Penambahan atau penggantian sebagian semen pada campuran beton akan mempengaruhi perilaku reaksi utama pembentukan *C-S-H* (Mehta and Monteiro, 2001). Proses hidrasi semen dan material bersifat pozzolan terjadi dua tahap yaitu reaksi primer dan reaksi sekunder sebagai berikut (Nugraha 2007):



Reaksi primer berupa pembentukan *C-S-H* dan kalsium hidroksida (*CH*) oleh semen yang berlangsung cepat, selanjutnya reaksi sekunder pengikatan *CH* oleh silika aktif dari material pozzolan membentuk *C-S-H*. Pengikatan ini dapat mengurangi porositas beton dan mengisi pori-pori dalam beton serta sifatnya seperti perekat dapat meningkatkan kekedapan dan kekuatan beton.

## 2.2 Kuat Tekan

Kuat tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kuat tekan beton didefinisikan sebagai kemampuan penampang beton menerima gaya tekan persatuan luas (Mulyono, 2004). Mengindikasikan, semakin tinggi mutu beton semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan.

Kuat tekan dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$f_{ck} = \frac{F}{A} \quad (1)$$

dimana:

$$\begin{aligned} f_{ck} &= \text{Kuat tekan (N/mm)} \\ F &= \text{Gaya Tekan (N)} \\ A &= \text{Luas bidang permukaan (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

## 2.3 Modulus elastisitas beton

Modulus elastisitas didefinisikan sebagai rasio teggangan normal terhadap regangan yang timbul akibat teggangan tersebut (Nugraha, 2007). Hubungan antara teggangan (*stress*) dan regangan (*strain*) digambarkan dalam sebuah diagram yang menunjukkan perilaku bahan. Kemiringan diagram teggangan regangan dalam daerah elastis linier disebut modulus elastisitas.

Nilai modulus elastisitas dihitung dengan persamaan:

$$E_C = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \quad (2)$$

dengan:

$$\begin{aligned} E_C &= \text{modulus elastisitas beton (MPa)} \\ S_2 &= \text{teggangan sebesar 40\% dari teggangan hancur (MPa)} \\ S_1 &= \text{teggangan beton pada saat regangan mencapai 0,00005 (MPa)} \\ \epsilon_2 &= \text{regangan yang terjadi pada saat teggangan mencapai } S_2 \end{aligned}$$

## 2.4 Kuat tarik belah beton

Kuat tarik belah ( $f_{ct}$ ) adalah kuat tarik yang ditentukan berdasarkan kuat tekan belah silinder beton yang ditekan pada sisi panjangnya (SNI 03-2847-2002). Nilainya sangat kecil dibandingkan dengan kuat tekannya untuk beton normal. Kuat tarik belah beton dapat dihitung dengan persamaan:

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (3)$$

dimana:

- $f_{ct}$  = Kuat tarik belah beton (MPa)
- P = beban maksimum (N)
- L = Panjang silinder (mm)
- D = Diameter silinder (mm)

### 3 BAHAN DAN METODE PENELITIAN

#### 3.1 Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan material campuran beton terdiri dari air, perekat, dan agregat. Masing-masing material diuraikan sebagai berikut:

1. Air yang digunakan untuk campuran beton adalah air dari PDAM yang terdapat pada Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Teknik sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana.
2. Agregat halus digunakan pasir alami dimana distribusinya dirancang memenuhi gradasi zone 2 sesuai SNI 03-2834-2000. Agregat kasar digunakan batu pecah dengan susunan butir dirancang memenuhi gradasi untuk ukuran butiran maksimum 20 mm menurut SNI 03-2834-2000.
3. Perekat adalah campuran Semen Portland tipe I (SPI) dan serbuk batu bata (SBB). SBB diambil dari sisa hasil produksi batu bata di Desa Belo Kecamatan Kupang Timur Provinsi NTT. Kandungan SBB dirancang dengan variasi prosentase: 10%, 20%, dan 30%. Sebagai kontrol dibuatkan 1 (satu) macam lagi beton dengan perekat SPI 100%. Komposisi perekat pada beton diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi Perekat Pada Beton

Beton	Perekat
BK0	100% SPI
BSB10	90% SPI+10%SBB
BSB20	80% SPI+20%SBB
BSB30	70% SPI+30%SBB

#### 3.2 Metoda Penelitian

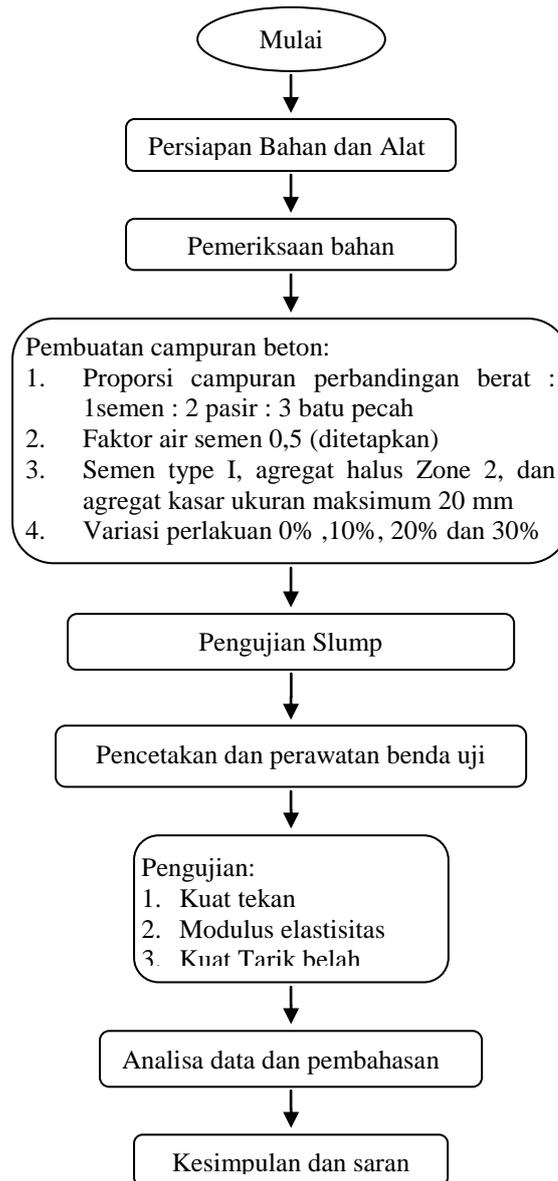
Pelaksanaan penelitian ini di bagi dalam beberapa tahapan kegiatan yang meliputi tahap persiapan, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengumpulan data dan analisis. Bagan Alir Proses Penelitian seperti ditampilkan pada Gambar 1.

Persiapan meliputi persiapan alat, pengadaan dan pemeriksaan bahan, serta pembuatan jadwal pelaksanaan. Peralatan yang digunakan adalah cetakan silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, mesin pencampur, alat penggetar, tempat perawatan, alat uji tekan, dan alat ukur perpendekan.

Pemeriksaan bahan dilakukan terhadap sifat-sifat fisik meliputi, berat satuan, berat jenis, rancangan gradasi agregat yang digunakan pada setiap campuran yang dibuat.

Pencampuran dilakukan dengan menggunakan alat pencampur mengikuti metoda standar. Sebelum dicampur, agregat disiapkan dalam kondisi SSD. Jumlah benda uji yang dibuat disesuaikan dengan umur dan jenis pengujian untuk masing-masing perlakuan.

Pengujian kekuatan dilaksanakan pada umur 28, 56, dan 90 hari dengan menggunakan 3 (tiga) buah benda uji. Jumlah benda uji yang dibutuhkan untuk masing-masing perlakuan adalah 9 (sembilan) buah. Pengujian kuat tekan dan pengukuran perpendekan dilakukan bersamaan, sehingga jumlah total benda uji yang diperlukan adalah 72 (tujuh puluh dua) buah.



Gambar1 Bagan alir proses penelitian

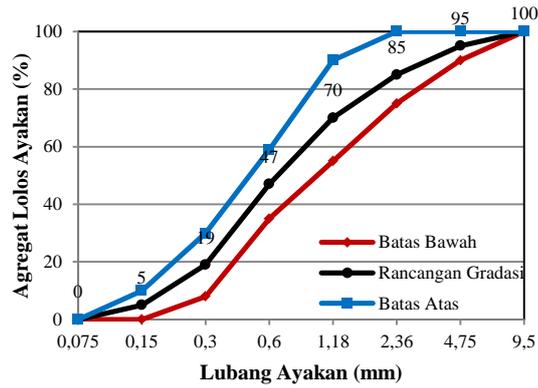
## 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakteristik bahan

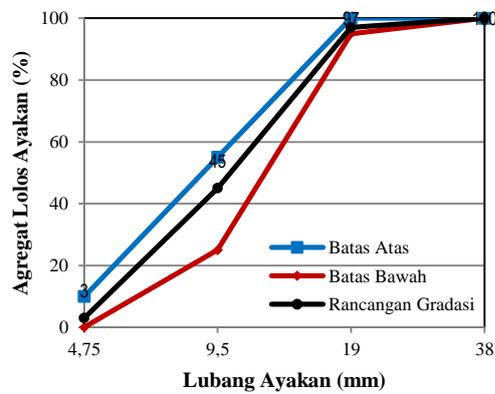
1. Air: digunakan air PDAM untuk campuran beton yang terdapat pada Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana. Pengujian terhadap air tidak dilakukan dengan asumsi telah memenuhi syarat untuk digunakan mencampur beton.
2. Agregat: dilakukan pengujian terhadap berat jenis SSD, berat satuan, kadar lumpur, dan penyerapan dari agregat halus dan agregat kasar didapat hasil seperti ditampilkan pada Tabel 2. Untuk distribusi butir agregat halus sesuai syarat gradasi zone 2 seperti ditampilkan pada Gambar 2 dan distribusi agregat kasar sesuai gradasi ukuran butiran maksimum 20 mm seperti ditampilkan pada Gambar 3

Tabel 2 Pengujian Agregat Halus dan Agregat Kasar

Pengujian	Agregat Halus	Agregat Kasar
Berat jenis SSD	2,13	2,29
Berat satuan (grm/cm <sup>3</sup> )	1,70	1,22
Penyerapan (%)	3,55	5,79
Kadar lumpur (%)	1,43	2,57



Gambar 2 Rancangan Gradasi Agregat Halus Zone 2



Gambar 3 Rancangan Gradasi Agregat Kasar Diameter Butir Maks. 20mm

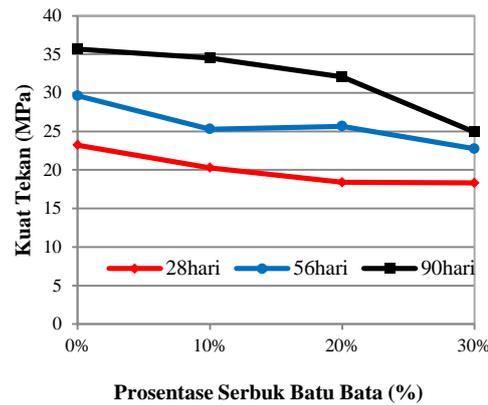
- Perekat: digunakan SPI standar industri yang terdapat dipasaran dan SBB dari Desa Oebelo Kabupaten Kupang Timur Provinsi NTT. Pengujian berat satuan terhadap SPI meliputi berat satuan dengan hasil yang diperoleh 1,13 gram/cm<sup>3</sup>. Untuk SBB dilakukan pengujian bagian yang lolos saringan no. 200, terhadap berat satuan didapat hasil sebesar 0,87 gram/cm<sup>3</sup> dan komposisi senyawa kimia seperti ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Komposisi Kimia Serbuk Batu Bata Desa Oebelo

Senyawa	Komposisi Kimia (%)
SiO <sub>2</sub>	69,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,10
CaO	5,20
SO <sub>3</sub>	4,40

#### 4.2 Kuat tekan

Hasil uji kuat tekan untuk setiap variasi prosentase serbuk batu bata seperti ditampilkan pada Gambar 4.

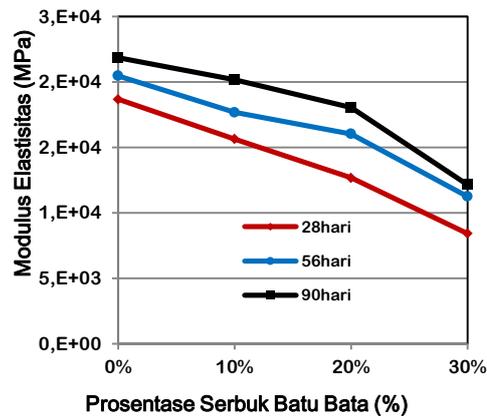


Gambar 4 Kuat Tekan Beton dengan Variasi Prosentase Serbuk Batu Bata

Data menunjukkan bahwa pada umur 28, 56, dan 90 hari, untuk setiap substitusi parsial SBB pada SPI, kuat tekan mengalami penurunan. Untuk umur 90 hari terlihat penurunan dengan perlahan dari variasi 0% - 20%. Pada umur 28, 56, dan 90 hari kuat tekan mencapai berturut-turut 87%, 85%, dan 97% untuk variasi substitusi 10% SBB. Hasil tersebut, terutama pada umur 90 hari, sangat dekat dengan kuat tekan beton dengan 100% SPI (BK0).

#### 4.3 Modulus Elastisitas Beton

Pengukuran modulus elastisitas dilakukan secara bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton. Hasil pengukuran untuk variasi prosentase substitusi parsial SBB pada SPI pada masing-masing umur pengujian ditampilkan pada Gambar 5.

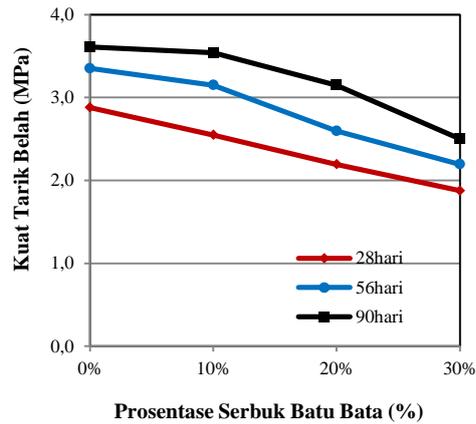


Gambar 5 Modulus Elastisitas Beton dengan Variasi Prosentase Serbuk Batu Bata

Hasil pengukuran modulus elastisitas menunjukkan kecenderungan yang mirip uji kuat tekan. Untuk prosentase substitusi 10%, nilai modulus elastisitas mencapai 93%, 86%, dan 94% berturut-turut untuk umur 28, 56, dan 90 hari.

#### 4.4 Kuat Tarik Belah Beton

Hasil pengujian kuat tarik belah beton dari variasi prosentase substitusi SBB pada SPI seperti ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Kuat Tarik Belah Beton dengan Variasi Prosentase Serbuk Batu Bata

Data menunjukkan bahwa uji kuat tarik belah memiliki kecenderungan yang mirip dengan hasil uji kuat tekan maupun modulus elastisitas. Untuk penggunaan 10 % SBB, kuat tarik belah beton pada umur 28, 56, dan 90 hari mencapai berturut-turut 69%, 87%, dan 98%.

### Pembahasan

Pemanfaatan SBB sebagai substitusi parsial SPI, berpengaruh terhadap perkembangan kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah beton bila dibandingkan beton dengan SPI 100%. Semakin meningkat kadar SBB pada perekat semakin rendah nilai kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah yang dihasilkan, terutama pada umur 28 hari.

Seiring bertambahnya umur, kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah beton pada setiap campuran semakin meningkat. Pada umur 90 hari, nilai kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah berturut-turut sebesar 97%, 94%, dan 98% untuk penggunaan 10% SBB. Kondisi ini terkait dengan volume produk hidrasi bersifat perekat semakin meningkat dalam beton sehingga kekerasan dan kekakuan semakin meningkat serta jumlah pori semakin berkurang (Salain dkk, 2013).

Dibandingkan produk beton dengan perekat semen Portland, umumnya produk beton dengan perekat campuran, karena terdapat material yang bersifat pozzolan (SBB), proses hidrasinya berjalan lambat (Salain dkk, 2006). Dari perkembangan kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah terlihat bahwa reaksi positif SBB sebagai material yang bersifat pozzolanik, baru tampak dengan jelas pada umur 90 hari. Hal ini mengakibatkan kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah yang sangat dekat dengan beton dengan 100% SPI.

Penggunaan SBB dalam perekat lebih besar dari 10% menghasilkan kinerja yang semakin rendah dibandingkan dengan beton SPI 100%. Hal ini terkait volume kapur bebas dari produk hidrasi  $C_3S$  dan  $C_2S$  pada SPI tidak berimbang dengan kandungan silika dan alumina pada SBB, sehingga hasil hidrasi yang bersifat perekat tidak optimal.

## 5 SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Dari hasil pelaksanaan penelitian yang dilakukan dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Serbuk batu bata dari Desa Oebelo menunjukkan reaktivitas yang relatif lambat sebagai material pozzolan.
2. Perkembangan kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah ditentukan dari prosentase kandungan SBB yang digunakan sebagai substitusi SPI dalam perekat.
3. Reaksi pozzolanik positif SBB sebagai substitusi parsial SPI baru tampak jelas pada umur 90 hari.
4. Pemanfaatan 10% SBB sebagai substitusi parsial SPI menghasilkan kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah sangat dekat dengan beton yang dibuat dengan 100% SPI

### 5.2 Saran

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa, perkembangan kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah beton dengan campuran serbuk batu bata sangat lambat. Untuk dapat meningkatkan kinerja beton dengan substitusi serbuk batu bata pada semen perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan bahan tambah kimiawi (*chemical admixture*) atau mineral (*additive*).

## **DAFTAR PUSTAKA**

- ACI Education Bulletin E3-13. 2013. *Cementitious Materials For Concrete*. USA: ACI Committee E-701.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton (SNI 03-2834-2000)*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*. Jakarta.
- Bektas, F. 2007. "Use Of Ground Clay Brick As A Supplementary Cementitious Material In Concrete - Hydration Characteristics, Mechanical Properties, And Asr Durability" (dissertation). Ames Iowa : Iowa State University.
- Kartini, K., Rohaidah, M.N., and Zuraini, Z.A. 2012. "Performance of Gound Clay Bricks As Partial Cement Replacement In Grade 30 Concrete". World Academi of Science Engineers and Techology; 6 2012-08-23: 312-315.
- Metha, P. K. and Monteiro. P. J. M. 2001. *Concrete, Microstructure, Properties and Materials*. Second Edition. Berkeley: University of California
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Edisi Kedua. Yogyakarta : Andi Offset.
- Neville A.M. and J.J. Brook, 1987. *Concrete Technology*. Pearson Education Limited, England.
- Nugraha, P. 2007. *Teknologi Beton dari Material, Pembuatan, Ke Beton Kinerja Tinggi*. Edisi Pertama. Yogyakarta: Universitas Kristen Indonesia-Andi Offset.
- Salain, I.M.A.K dan Widiarsa, I.B.R. 2006. "Hubungan Antara Kuat Tekan Dan Faktor Air Semen Pada Beton Yang Dibuat Dengan Menggunakan Semen Portland-Pozzolan". Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 10: 189-194.
- Salain, I.M.A.K, Wiryasa, N.M.A., Intara, I W. 2013. "Pengunaan Batu Tabas Sebagai Pengganti Sebagian Semen Dalam Campuran Beton". Jurnal Spektran, 1: 1-7