



## Pemanfaatan limbah tulang sapi dan kaca sebagai substitusi parsial semen terhadap bata beton pejal

Hardinant Akesi Suratman<sup>a\*</sup>, Hardika Putro Wijaksono<sup>b</sup>, Hartono<sup>c</sup>, Shifa Fauziyah<sup>d</sup>

<sup>a\*, b, c, d</sup> Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

### ARTICLE INFO

#### Corresponding author:

Email:

[hardinantakesi47@gmail.com](mailto:hardinantakesi47@gmail.com)  
[putrohardika16@gmail.com](mailto:putrohardika16@gmail.com)

#### Article history:

Received : 24 July 2023

Revised : 9 August 2023

Accepted : 27 August 2023

Publish : 8 September 2023

#### Keywords:

solid concrete bricks, cow bone waste, glass waste

### ABSTRACT

*Cement is a non-renewable natural resource, this natural resource will run out over time. In this research, waste cow bone and glass were used as a partial substitute for cement for solid concrete bricks. This study used a quantitative method in the form of an experimental method referring to the General Requirements for Building Materials in Indonesia (PUBI – 1982) and the Indonesian National Standard (SNI) 03-0349-1989, with a total of 24 test objects measuring 15 x 15 x 15 cm consisting of 4 variations of composition which were tested at the age of 7 days. The content of calcium oxide (CaO) in beef bones and silica (SiO<sub>2</sub>) contained in glass can be used to increase the hardening of concrete. Based on the test results, it was found that a mixture of solid concrete bricks with 4.5% beef bone powder and 3% glass powder (BSK 1), produced an optimum average compressive strength of 290.56 Kg/cm<sup>2</sup> with a water absorption value of 2.445%, declared to be entering quality I solid concrete brick. This proves that the innovation of solid concrete bricks with the addition of bovine bone and glass waste can be stated to be better than conventional solid concrete bricks, resulting in solid concrete bricks that have high compressive strength, economical price and are environmentally friendly.*

Copyright © 2023 PILARS-UNDIP

## 1. Pendahuluan

Bata Beton Pejal merupakan suatu komponen yang sering dipergunakan dalam konstruksi tersusun atas campuran *portland cement*, pasir dan air. Bata beton pejal biasanya disebut juga dengan batako, dalam konstruksi bata beton pejal ini sering digunakan sebagai pengganti bata merah yang bertujuan untuk mempersingkat waktu pekerjaan dinding. Seiring perkembangan jaman, terdapat berbagai inovasi yang muncul dalam pembuatan beton, salah satunya inovasi campuran agregat dengan cara penambahan ataupun substitusi. Banyaknya inovasi baru dalam pembuatan bata beton pejal ini sebagai langkah pengganti bahan utama penyusun bata beton. Semen merupakan bagian dari bahan utama dalam pembuatan bata beton pejal yang memiliki sifat tidak dapat diperbaharui, apabila bahan tersebut digunakan secara terus menerus akan habis dikarenakan sumber semen berasal dari material alam. Selain itu, beberapa inovasi bata beton pejal banyak yang dilakukan sebagai langkah meminimalisir jumlah limbah yang ada.

Di Indonesia, permasalahan sampah masih menjadi masalah yang tidak ada ujungnya. Tercatat dalam statistik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), ditahun 2020 kuantitas limbah yang dihasilkan Indonesia mencapai 68,5 juta ton dengan sumber terbanyak berasal dari limbah rumah tangga. Contoh limbah yang dihasilkan dari aktivitas rumah tangga, seperti sisa makanan dan kaca.

Berdasarkan data SIPSN Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan 2022, grafik komposisi jenis limbah sisa makanan menunjukkan angka 41,72%. Pada limbah sisa makanan masih banyak yang

belum terkelola dengan baik, salah satunya adalah limbah tulang sapi. Di Indonesia, jumlah konsumsi daging sapi pada tahun 2022 mencapai 498.923,14 ton (Badan Pusat Statistik, Maret 2022), hal ini mengiringi jumlah limbah yang dihasilkan dari sapi. Bukan hanya sisa makanan, kaca juga merupakan contoh limbah yang dihasilkan dari aktivitas rumah tangga. Pada grafik komposisi jenis limbah kaca mencapai 2,02% (SIPSN KLHK, 2022), berada di posisi ke-8 dalam komposisi sampah tersebut. Limbah kaca merupakan salah satu limbah yang tidak bisa terurai, tetapi berpotensi menjadi material *pozzolan* karena terdapat kandungan silika dan kandungan aktif semen lainnya.

Dibalik dari sisi negatif limbah tersebut, terdapat sisi positif atau kelebihan yang masih bisa dimanfaatkan. Tulang sapi memiliki kandungan yang dapat dijadikan campuran beton. Umumnya tulang mempunyai kandungan Kalsium Oksida (CaO) yang merupakan salah satu komposisi penting semen. CaO berfungsi pada semen dalam proses hidrasi apabila dicampur dengan air. CaO juga dapat memperkuat daya lekat terhadap agregat akibat pori-pori yang mengecil pada beton (PP Pamilih, 2020). Sehingga, kalsium oksida ini berfungsi untuk mempercepat pengerasan beton.

Bukan hanya tulang sapi, limbah kaca juga memiliki kelebihan yang dapat dimanfaatkan kembali. Kaca diolah menjadi bubuk kaca yang dapat digunakan untuk campuran beton. Dengan memiliki beberapa kandungan didalamnya seperti, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan CaO yang dapat digunakan dalam substitusi semen, karena ukuran butirnya yang sangat kecil sehingga dapat mengisi lubang pori beton yang membuat kuat tekan beton bertambah (Hanafiah, 2011).

Oleh karena itu, bubuk tulang sapi dan bubuk kaca dapat digunakan sebagai substitusi parsial semen terhadap bata beton pejal karena dilihat dari kandungan yang terkandung pada kedua bahan tersebut memiliki komposisi dari semen. Maka, dilakukan penelitian untuk mengetahui efektivitas kedua bahan tersebut dalam segi kuat tekan dan daya serap air. Hasil yang diharapkan pada penelitian ini bubuk tulang sapi dan bubuk kaca dapat membantu mempercepat pengeringan yang menghasilkan bata beton pejal dengan kuat tekan yang lebih tinggi daripada bata beton pejal konvensional. Selain itu, penggunaan bubuk tulang sapi dan bubuk kaca sebagai bentuk langkah meminimalisir jumlah limbah yang ada, serta menghasilkan bata beton pejal ramah lingkungan dengan harga lebih murah dari bata beton pejal konvensional.

Inovasi ini menciptakan hal baru dalam substitusi parsial semen terhadap bata beton pejal, berbeda dengan penelitian sebelumnya yang lebih banyak melakukan inovasi terhadap beton. Selain itu, pada penelitian sebelumnya belum ada yang mencampurkan bubuk tulang sapi dan bubuk kaca menjadi satu kesatuan sebagai substitusi parsial semen.

## 2. Data dan metode

### 2.1. Pengolahan limbah tulang sapi

Limbah tulang sapi yang digunakan pada pembuatan bata beton pejal ini menggunakan semua bagian tulang yang ada pada sapi. Langkah dalam pengolahan limbah tulang sapi yaitu dengan menghaluskan tulang sapi menjadi bubuk atau halus menggunakan alat penghancur tulang atau *bone crusher*. Setelah limbah tulang sapi berubah menjadi bubuk halus, bubuk tulang sapi tersebut disaring menggunakan saring dan diambil yang lolos saringan nomor 200, lalu olahan tersebut dicampurkan atau di *mix* dengan persentase sebesar 0%, 4,5%, 6% dan 7,5% sebagai substitusi semen *portland* dalam pembuatan bata beton pejal. Persentase *mix design* yang ditentukan didasari oleh beberapa *riset statement*, salah satunya jurnal Pamilih, P.P (2020) yang membuktikan bahwa kuat tekan beton menurun pada persentase bubuk tulang sapi sebagai parsial semen melebihi 7,5%, maka diambil rencana *mix design* campuran bubuk tulang sapi dibawah 7,5%. Bubuk tulang sapi yang telah lolos saringan 200 ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Bubuk tulang sapi

## 2.2. Pengolahan limbah kaca

Limbah kaca yang dipergunakan pada pembuatan bata beton pejal ini menggunakan berbagai macam jenis kaca. Limbah kaca diperhalus menjadi serbuk menggunakan alat penghancur atau penumbuk untuk menjadikan kaca menjadi kepingan kecil-kecil, lalu kepingan kecil tersebut diperhalus menjadi serbuk menggunakan *Mortar* dan *Stamper*. Serbuk kaca yang sudah halus dilakukan penyaringan menggunakan saringan dan diambil yang lolos saringan nomor 200, setelah itu dicampurkan atau di *mix* dengan persentase sebesar 0%, 3%, 6% dan 10% sebagai substitusi semen *portland* dalam pembuatan bata beton pejal. Persentase *mix design* yang ditentukan didasari oleh beberapa *riset statement*, salah satunya jurnal Handayasari, dkk (2016) yang membuktikan bahwa kuat tekan beton menurun pada persentase serbuk kaca sebagai parsial semen melebihi 10%, maka diambil rencana *mix design* campuran serbuk kaca dibawah 10%. Pengolahan bubuk kaca ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Konsep transmisi cahaya

## 2.3. Pengujian material agregat halus

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh material yang sudah layak dan siap digunakan untuk pembuatan bata beton pejal. Acuan kelayakan material didasarkan sesuai syarat PUBLI-1982 yaitu pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%. Selain itu, pasir disyaratkan lolos saringan 4,75 mm atau ukuran pasir < 5 mm dan tertahan di saringan 0,075 mm sesuai spesifikasi ASTM C33.

## 2.4. Merancang *mix design*

*Mix design* pada pembuatan bata beton pejal menjadikan penelitian terdahulu sebagai acuan referensi. Berdasarkan hasil penelitian dari berbagai jurnal didapatkan persentase rata-rata bubuk tulang sapi untuk mencapai kuat tekan optimum sebesar 7,5%, sedangkan untuk persentase rata-rata

serbuk kaca untuk mencapai kuat tekan optimum sebesar 10%. Benda uji yang dipakai pada penelitian ini berupa kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm yang menggunakan proporsi bahan campuran 1 (semen) : 6 (pasir) : 0,35 (FAS), dengan menjadikan tulang sapi dan kaca sebagai substitusi semen. Rancangan *mix design* ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Rancangan *mix design*

Jenis Beton	Proporsi Bahan	Nama Benda Uji
Bata Beton Pejal 0% tulang sapi dan 0% serbuk kaca	1 (Semen) : 6 (Pasir)	BBP
Bata Beton Pejal 4,5% tulang sapi dan 3% serbuk kaca	1 (Semen 93,5%, Bubuk Tulang Sapi 4,5%, Serbuk Kaca 3%) : 6 (Pasir)	BSK1
Bata Beton Pejal 6% tulang sapi dan 6% serbuk kaca	1 (Semen 88%, Bubuk Tulang Sapi 6%, Serbuk Kaca 6%) : 6 (Pasir)	BSK2
Bata Beton Pejal 7,5% tulang sapi dan 10% serbuk kaca	1 (Semen 82,5%, Bubuk Tulang Sapi 7,5%, Serbuk Kaca 10%) : 6 (Pasir)	BSK3

## 2.5. Pengujian kuat tekan

Pengujian kuat tekan bata beton pejal ini dilakukan pada umur 7 hari. Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan kuat tekan bata beton pejal normal dengan bata beton pejal yang sudah didesain. Uji kuat tekan ini menggunakan mesin tekan yang kecepatan penekanannya bisa diatur. Dalam menghitung kuat tekan benda uji, beban maksimal pada saat benda uji hancur dibagi luas bidang tekan berat kotor (satuan kg/cm<sup>2</sup>), lalu didapatkan hasil dari kuat tekan tersebut. Uji kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 1.** Uji Kuat Tekan

## 2.6. Pengujian daya serap air

Pengujian daya serap air ini dilakukan pada saat benda uji mencapai 7 hari. Uji ini bertujuan untuk mengetahui besarnya air yang diserap benda uji, semakin besarnya air yang diserap berarti semakin banyak pori atau rongga yang berada pada bata beton pejal, sehingga ketahanan benda uji akan berkurang. Hasil pengujian ini didapatkan dengan menghitung selisih antara massa benda uji yang sudah dioven dengan suhu 105 ± 5°C dan massa benda uji yang sudah direndam selama 24 jam.

## 2.7. Perencanaan *output* bata beton pejal

*Output* yang dihasilkan dari penelitian ini adalah bata beton pejal berukuran sedang berdasarkan SNI 03-0349-1989 dengan dimensi 30 cm (panjang) x 15 cm (lebar) x 10 cm (tebal). Bata beton pejal yang dihasilkan akan menggunakan variasi campuran bubuk tulang sapi dan bubuk kaca yang optimal sebagai substitusi parsial semen.

### 3. Hasil dan pembahasan

Inovasi bata beton pejal dengan memanfaatkan bubuk tulang sapi dan bubuk kaca sebagai substitusi parsial semen, memiliki keunggulan dalam menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dan harga yang lebih ekonomis daripada bata beton pejal konvensional. Kandungan CaO dan SiO<sub>2</sub> yang terkandung pada tulang sapi dan kaca tersebut merupakan bagian komposisi yang sama dengan semen. Hal ini menjadikan kedua bahan tersebut menjadi substitusi parsial semen yang membantu meningkatkan kuat tekan bata beton pejal dan mengurangi penggunaan semen untuk menciptakan harga yang lebih murah.

#### 3.1. Pengujian analisis saringan

Agregat halus merupakan butiran kekal yang berarti tidak mudah hancur. Agregat halus dalam pembuatan bata beton pejal sangat berperan dalam mempengaruhi kualitas. Agregat halus yang baik memiliki kandungan lumpur tidak melebihi 5% dari berat kering dan disyaratkan lolos saringan 4,75 mm atau ukuran pasir < 5 mm dan tertahan di saringan 0,075 mm sesuai spesifikasi ASTM C33. Hasil pengujian agregat halus ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

**Tabel 2.** Hasil pengujian gradasi agregat halus

Diameter Saringan	Berat Tertahan	Berat Tertahan Kumulatif	Persentase Berat Tertahan	Persentase Berat Tertahan Kumulatif	Persentase Berat Lolos Kumulatif
(mm)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
9,50	0	0	0%	0%	100%
4,75	14	14	3%	3%	97%
2,36	20	34	4%	7%	93%
1,18	85	119	17%	24%	76%
0,60	95	214	19%	43%	57%
0,30	117	331	24%	67%	33%
0,15	66	397	13%	80%	20%
0,075	55	452	11%	91%	9%
0	45	497	9%	100%	0%
Jumlah	497		100%		

**Tabel 3.** Hasil pengujian gradasi agregat halus

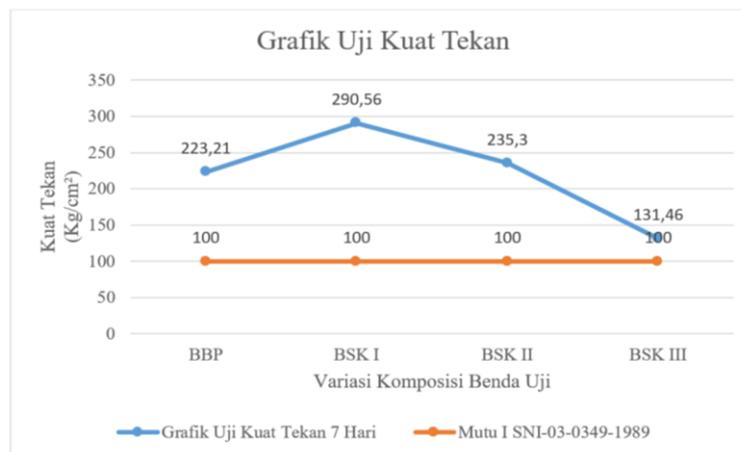
No	Jenis Pengujian	Hasil Analisis Pengujian
1	Kadar Lumpur	3%
2	Persentase Kehilangan Berat (Uji Gradasi)	0,6%
3	Modulus Kehalusan	2,23
4	Spesifikasi Pasir	Pasir Sedang

#### 3.2. Pengujian kandungan lumpur system cucian

Pengujian kuat tekan dilakukan saat benda uji mencapai umur 7 hari, dengan jumlah keseluruhan benda uji 12 buah sampel. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan yang disyaratkan dan membandingkan antara kuat tekan bata beton pejal normal dan bata beton pejal yang sudah didesain. Berikut ini hasil pengujian kuat tekan bata beton pejal umur 7 hari dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 4.

**Tabel 4.** Hasil pengujian kuat tekan

Variasi <i>Mix Design</i>	No	Berat (Kg)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )
BBP Konvensional	1	7,265	296	18,79	191,70
	2	7,355	398	25,26	257,75
	3	7,100	340	21,58	220,19
	Rata-rata		344,67	21,88	223,21
BSK I (Bubuk Tulang Sapi 4,5%, Bubuk Kaca 3%)	1	7,545	530	33,64	343,24
	2	7,290	456	28,94	295,31
	3	7,300	360	22,85	233,14
	Rata-rata		448,67	28,48	290,56
BSK II (Bubuk Tulang Sapi 6%, Bubuk Kaca 6%)	1	6,875	377	23,93	244,15
	2	6,870	344	21,83	222,78
	3	6,750	369	23,42	238,97
	Rata-rata		363,33	23,06	235,3
BSK III (Bubuk Tulang Sapi 7,5%, Bubuk Kaca 10%)	1	6,815	186	11,81	120,46
	2	7,070	210	13,33	136,00
	3	6,735	213	13,52	137,94
	Rata-rata		203	12,88	131,46

**Gambar 4.** Grafik uji kuat tekan

Gambar 4 menunjukkan bahwa semua variasi *mix design* telah memenuhi syarat kuat tekan SNI-03-0349-1989 dengan mutu I. Nilai kuat tekan rata-rata maksimum berada pada variasi BSK I sebesar 290,56 Kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan, nilai kuat tekan rata-rata minimum terjadi pada variasi BSK III sebesar 131,46 Kg/cm<sup>2</sup>, yang berarti variasi BSK III ini menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dari bata beton pejal konvensional sebesar 223,21 Kg/cm<sup>2</sup>.

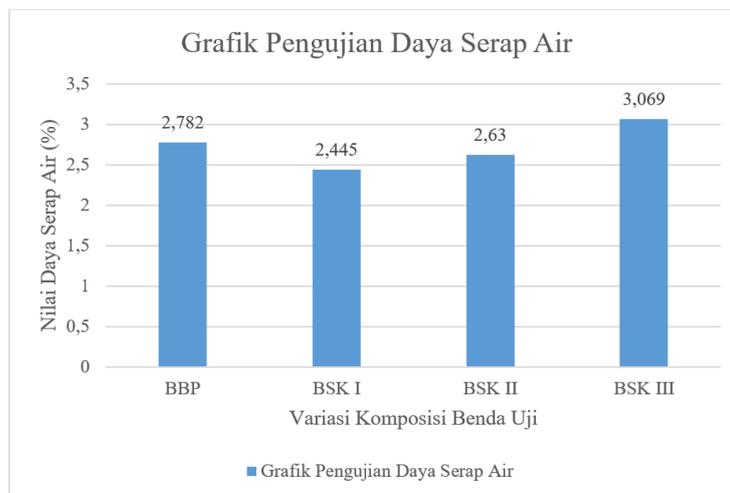
Berdasarkan hasil penelitian Anwar Ahmad, dkk (2017), penambahan bubuk tulang sapi sebanyak 7,5% sebagai substitusi parsial semen terhadap beton dapat meningkatkan kuat tekan beton optimum. Selain itu, hasil penelitian Handayasari, dkk (2016) membuktikan bahwa penambahan bubuk kaca sebanyak 10% sebagai substitusi parsial semen terhadap bata beton pejal dapat menghasilkan kuat tekan optimum. Namun, pada penelitian ini dalam mencampurkan persentase optimum dari kedua bahan tersebut menjadi satu justru menurunkan kuat tekan bata beton pejal, tetapi masih berada pada mutu I SNI 03-0349-1989.

### 3.3. Pengujian daya serap air

Pengujian daya serap air dilakukan saat benda uji mencapai umur 7 hari, dengan jumlah keseluruhan benda uji 12 buah sampel. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya kadar air yang diserap benda uji. Berikut ini hasil uji daya serap air benda uji bata beton pejal ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 5.

**Tabel 5.** Pengujian daya serap air

Variasi <i>Mix Design</i>	No	Massa Kering (Kg)	Massa Basah (Kg)	Nilai Daya Serap Air (%)
BBP Konvensional	1	6,860	7,080	3,207
	2	6,780	6,970	2,508
	3	6,845	7,025	2,630
	Rata-rata			2,782
BSK I (Bubuk Tulang Sapi 4,5%, Bubuk Kaca 3%)	1	7,135	7,310	2,452
	2	7,395	7,570	2,366
	3	7,350	7,535	2,517
	Rata-rata			2,445
BSK II (Bubuk Tulang Sapi 6%, Bubuk Kaca 6%)	1	7,215	7,400	2,564
	2	7,440	7,635	2,621
	3	7,395	7,595	2,705
	Rata-rata			2,630
BSK III (Bubuk Tulang Sapi 7,5%, Bubuk Kaca 10%)	1	6,875	7,060	2,690
	2	6,930	7,145	3,102
	3	6,735	6,965	3,414
	Rata-rata			3,069



**Gambar 2.** Grafik pengujian daya serap air

Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian daya serap air tiap variasi bata beton pejal pada umur 7 hari didapatkan nilai persentase rata-rata daya serap air untuk variasi bata beton konvensional (BBP) sebesar 2,782%, variasi BSK I sebesar 2,445%, variasi BSK II sebesar 2,630%, dan variasi terakhir BSK III sebesar 3,069%. Hal ini membuktikan bahwa semua variasi telah memenuhi syarat daya serap air kurang dari 25% seperti yang telah ditetapkan SNI-03-0349-1989.

### 3.4. Analisis perbandingan anggaran biaya

Berdasarkan hasil pengujian *mix design* yang telah direncanakan, diperoleh variasi komposisi campuran terbaik yang dapat diterapkan dalam inovasi bata beton pejal yaitu BSK I.

Berikut ini perbandingan biaya produksi BSK I dengan Bata Beton Pejal Konvensional ditunjukkan pada Tabel 6, perhitungan biaya ini menggunakan dimensi bata beton pejal sedang berukuran 30 x 15 x 10 cm yang dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Ilustrasi pemasangan 1m<sup>2</sup> bata beton pejal

**Tabel 6.** Rencana anggaran biaya produksi

Material	Harga Satuan (Rp)	Bata Beton Pejal Konvensional		Bata Beton Pejal BSK I	
		Kebutuhan (Kg)	Jumlah Harga (Rp)	Kebutuhan (Kg)	Jumlah Harga (Rp)
Semen	Rp 1.500,00	2,025	Rp 3.037,5	1,873	Rp 2.809,50
Pasir	Rp 214,29	5,400	Rp 1.157,16	5,400	Rp 1.157,16
Air	Rp 150,00	0,709	Rp 106,35	0,709	Rp 106,35
Tulang Sapi	Rp 0	-	Rp 0	0,091	Rp 0
Kaca	Rp 0	-	Rp 0	0,061	Rp 0
Total			Rp 4.301,01	Total	Rp 4.073,01

Anggaran biaya produksi 1 buah bata beton pejal konvensional didapatkan sebesar Rp. 4.301,01 dan biaya produksi 1 buah bata beton pejal BSK I (4,5% bubuk tulang sapi dan 3% bubuk kaca) sebesar Rp. 4.073,01. Maka, dapat disimpulkan bahwa bata beton pejal BSK I lebih hemat Rp. 228,00 daripada bata beton pejal konvensional, hal ini disebabkan berkurangnya kebutuhan semen yang disubstitusi parsial oleh bubuk tulang sapi dan bubuk kaca. Dikarenakan biaya produksi 1 buah bata beton pejal lebih murah dibandingkan konvensional, maka rencana biaya pemasangan BSK I per 1 m<sup>2</sup> nya lebih murah dibandingkan konvensional yang dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 1.** Rencana biaya pemasangan per 1 m<sup>2</sup> bata beton pejal konvensional dengan BSK I

Perhitungan	Bata Beton Pejal Konvensional	Bata Beton Pejal BSK I
Luas Batako Sisi Samping	0,3 x 0,15 = 0,045 m <sup>2</sup>	0,3 x 0,15 = 0,045 m <sup>2</sup>
Kebutuhan Batako	1/0,045 = 22 buah	1/0,045 = 22 buah
	17,5 x 0,30 x 0,1 x 0,02 = 0,010	17,5 x 0,30 x 0,1 x 0,02 = 0,010
Kebutuhan Spesi	18 x 0,15 x 0,1 x 0,02 = 0,0054	18 x 0,15 x 0,1 x 0,02 = 0,0054
	Total = 0,0154	Total = 0,0154
Total Harga 1m <sup>2</sup>	4.301,01 x 22 = Rp. 99.400,34	4.073,01 x 22 = Rp. 89.606,22
Harga Kebutuhan Spesi dengan campuran 1pc : 5 pp	Semen = (1/6 x 0,0154/0,00048) x 1.500 = Rp. 8.020,83	Semen = (1/6 x 0,0154/0,00048) x 1.500 = Rp. 8.020,83
	Pasir = (5/6 x 0,0154 x 1400) x 214,29 = Rp. 3.850,07	Pasir = (5/6 x 0,0154 x 1400) x 214,29 = Rp. 3.850,07
	Pasir + Semen = Rp. 11.870,90	Pasir + Semen = Rp. 11.870,90
Totak Kebutuhan 1m <sup>2</sup>	Rp. 99.400,34 + Rp. 11.870,90 = Rp. 111.271,24	Rp. 89.606,22 + Rp. 11.870,90 = Rp. 101.477,12

Tabel 7 menunjukkan anggaran biaya pemasangan 1m<sup>2</sup> bata beton pejal BSK I juga lebih ekonomis dibandingkan biaya pemasangan 1m<sup>2</sup> bata beton pejal konvensional, dengan selisih anggaran biaya sebesar Rp. 9.794,12.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian pemanfaatan bubuk tulang sapi dan bubuk kaca sebagai substitusi parsial semen berpengaruh dalam meningkatkan kuat tekan bata beton pejal dengan batas maksimal substitusi kedua bahan tersebut sebesar 6%. Namun, untuk menghasilkan kuat tekan maksimal pada bata beton pejal dapat menggunakan persentase substitusi parsial bubuk tulang sapi 4,5% dan kaca bubuk kaca 3%. Selain meningkatkan kuat tekan tinggi, inovasi bata beton pejal ini juga menghasilkan harga yang lebih ekonomis sebesar Rp. 4.073,01/bata beton pejal, dengan biaya pemasangan 1m<sup>2</sup> sebesar Rp. 101.477,12.

#### Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada Bapak Drs. Hartono, M.T. dan Ibu Shifa Fauziyah, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing, memberikan saran atau masukan selama proses penelitian. Selain itu, terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang memiliki peranan dalam penelitian ini. Dalam penyusunan penelitian ini, kami menyadari masih jauh dari kata sempurna. Besar harapan kami untuk hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi publik dalam memberikan hal baru dan dampak positif bagi perkembangan material di bidang konstruksi.

#### Referensi

- A. Hidayat, A. I. (2021). A. Hidayat/ JURMATEKS Vol 4 No 1 Tahun 2021. *Penambahan Abu Jerami Dan Abu Sekam pada Beton Fc' 18,68*, 15-28.
- Anwar, A. (2017). Study of Concrete Properties Using Bone Powder by Parcial Replacement of Cement. *Journal of Ceramic and Concrete Sciences*, 2(2), 1-4.
- Candra, A. I. (2020). KUAT TEKAN BETON Fc' 21,7 MPa MENGGUNAKAN WATER REDUCING . *Jurnal CIVILLa Vol 5 No 1 Maret 2020*, 330-340.
- Hulu, Y. S. (2018). *Pengaruh Abu Ampas Tebu Sebagai Bahan Substitusi Pada Pembuatan Batako*. Medan: Universitas Medan Area.
- IKHSAN, M. N. (2016). Pengaruh Penambahan Pecahan Kaca Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus dan Penambahan Fiber Optik Terhadap Kuat Tekan Beton Serat. *JURNAL ILMIAH SEMESTA TEKNIKA*, 19, 148-156.
- J. C. (2020, Maret 1). *Jurnal CIVILLa Vol 5 No 1 Maret 2020. Semen Portland di Indonesia untuk Aplikasi Beton Kinerja Tinggi*, p. 11.
- Mukhlis, A. (2014). Makalah Seminar Nasional Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala, 2014. *Beton Agregat Tulang Ikan Lele*.
- Mukhlis, A. (2020). PENGARUH PENGGUNAAN AGREGAT . *PORTAL Jurnal Teknik Sipil Vol. 12, No. 1, April 2020*, 40.
- Mutiara, E. (2022). *Inovasi Desain Batako Dalam Bentuk Tetris L Dengan Penambahan Model Interlock*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Paglo, E. A. (2022). PENGARUH KUAT TEKAN BETON AKIBAT PENAMBAHAN AGREGAT HALUS DARI TUMBUKAN LIMBAH KACA. *Teknik Sipil*.
- Pamilih, P. P. (2020). UNS, F. Teknik - Program Studi Diploma Teknik Sipil - I8217023 - 2020. *Pemanfaatan limbah bubuk tulang sapi dan limbah marmer sebagai substituen parsial pada self compacting concrete*.
- PUPR. (1982). *Persyaratan Umum Bahan Bangunan Di Indonesia (PUBI-1982)*. Bandung: Kementrian Pekerjaan Umum.
- Safitri, R. A. (2019). Vol 1 (2019). *LIMBAH TULANG HEWAN SEBAGAI BAHAN PENGGANTI TAMBAHAN CAMPURAN BETON*, 1-7.
- SIPSN. (2022). *Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan*. Retrieved from sipsn.menlhk: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- SNI 03-0349-1989. 1989. "Bata beton untuk pasangan dinding." *Badan Standar Nasional Indonesia*: 1-5.
- WIJAYA, V. D. (2015). *PENGARUH SERBUK KACA SEBAGAI SUBSTITUSI SEBAGIAN AGREGAT HALUS DAN SEBAGAI FILLER TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON*. Yogyakarta.