

Pengaruh Limbah Keramik dan Abu Terbang Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air Bata Beton

(Influence of Ceramic Waste and Fly Ash on Compressive Strength and Water Absorption of Paving Block)

Satya Adi Purnama¹ dan Tri Sudibyo^{1*}

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga, PO BOX 220, Bogor, Jawa Barat Indonesia

Penulis korespondensi: tri.sudibyo@apps.ipb.ac.id

Diterima: 15 November 2018

Disetujui: 15 Desember 2018

ABSTRACT

The growth of development sector in Indonesia lead a high demand for cement and sand. The research was conducted from February to July 2018 with objectives of analyzing and knowing the influence of mixture of ceramic waste and fly ash on compressive strength and water absorption of paving block. The research was started from preparation of tools and materials, manufactured of specimens and also tested the compressive strength and absorption of paving block. Quality standard were based on SNI 03-0691-1996. Based on the analysis result, the highest compressive strength of 26.56 Mpa was obtained from paving block with 9% fly ash and 6% ceramic waste and was classified as class B. The highest water absorption of 18.29% was paving block with 15% mixture of ceramic wastes and the lowest water absorption of 9.65% was normal paving block. Brick concrete with 6% mixture of ceramic waste and 9% fly ash had several advantages, i.e. cheaper cost, had a higher compressive strength and higher water absorption compared to normal paving block, more environmental friendly, had lighter weight and ease of installation.

Key words: ceramic wastes, compressive strength, fly ash, paving block, water absorption

PENDAHULUAN

Berkembangnya sektor pembangunan di Indonesia yang menggunakan bata beton mengakibatkan tingginya kebutuhan semen dan pasir yang akan berpengaruh pada peningkatan produktifitas semen. Produksi semen telah menghasilkan emisi gas CO₂ yang cukup besar ke atmosfer. Menurut *International Energy Authority, World Energy Outlook*, jumlah karbon dioksida yang dihasilkan tahun 1995 adalah 23,8 Milyar ton. Produksi semen *portland* menyumbang 7% dari keseluruhan CO₂ tersebut dan diprediksi akan terus meningkat (Akmalia *et al.* 2016).

Perkembangan industri keramik di Indonesia yang terus mengalami peningkatan juga berdampak pada meningkatnya limbah keramik yang timbul. Puslitbang TMB (2005) menyebutkan bahwa Indonesia

mengekspor 122.367.973 m³ batu keramik pada tahun 2005. Selain itu, juga terjadi peningkatan kebutuhan batu bara pada pembangkit tenaga listrik untuk proses pembakaran. Hal ini akan meningkatkan produksi abu terbang yang pemanfaatannya masih sedikit, yaitu sekitar 20 - 30 % (Nurzal dan Taufik 2016).

Penambahan limbah keramik yang mengandung kapur dapat berfungsi sebagai pendukung abu terbang yang juga berfungsi sebagai *pozolan* pengganti semen, namun fungsi utama kapur adalah plastis, dapat mengeras dan memberikan kekuatan mengikat, menghasilkan daya rekat yang bagus (Alfiansyah 2017). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan limbah keramik dan abu terbang terhadap kuat tekan dan daya serap air bata beton.

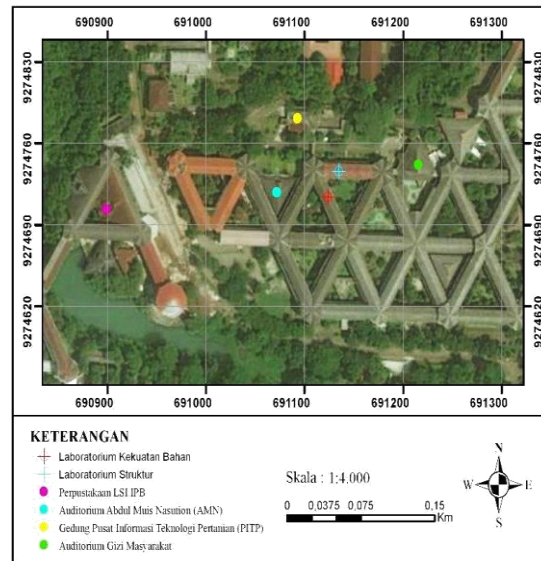
Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh campuran limbah keramik dan abu terbang terhadap kuat tekan dan daya serap air bata beton, mengetahui campuran limbah keramik dan abu terbang yang optimal serta mengetahui perbedaan dan kelebihan bata beton yang diberi campuran limbah keramik dan abu terbang dengan bata beton normal.

METODOLOGI

Penelitian dilaksanakan sekitar 5 bulan dari bulan Februari – Juli 2018. Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Laboratorium Kekuatan Bahan Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Gambar 1 merupakan peta lokasi penelitian.

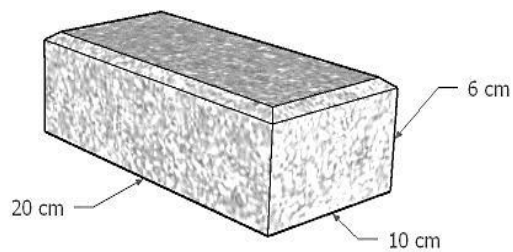
Beberapa perlengkapan alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu *universal testing machine* (UTM), cetakan bata beton, timbangan, wadah/talam, sendok semen, oven, penggaris, saringan, plat alas, piknometer, semen *portland*, limbah keramik, abu terbang, agregat halus (pasir), dan air.

Penelitian dibagi menjadi tiga tahapan besar, yaitu tahap persiapan alat dan bahan, tahap pembuatan benda uji dan tahap pengujian kuat tekan dan daya serap air. Penelitian dimulai dengan mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan. Kemudian bahan yang telah disiapkan diuji karakteristiknya. Pembuatan benda uji dimulai dengan menentukan bahan dan komposisi campuran bata beton. Selanjutnya benda uji dibuat berdasarkan komposisi yang telah ditentukan. Pengumpulan data primer berupa kuat tekan, daya serap air dan bobot bata beton didapat setelah proses pembuatan benda uji, perawatan serta pengujian kuat tekan dan daya serap air benda uji.



Gambar 1 Peta lokasi penelitian

Benda uji yang dibuat dalam penelitian ini berupa bata beton dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 6 cm. Pembuatan benda uji dilakukan secara manual dengan jumlah tumbukan sebanyak 15 kali serta perbandingan semen dan pasir yaitu sebesar 1 : 2. Bentuk benda uji bata beton disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Bentuk benda uji

Pengujian kualitas agregat halus (pasir) dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu analisis saringan berdasarkan SNI 03-1968-1990 (Dep PU 1990 a), uji kadar air agregat halus berdasarkan SNI 03-1971-1990 (Dep PU 1990 b), serta uji berat jenis pasir (specific gravity). Berat jenis (bulk specific gravity) pasir dihitung menggunakan rumus seperti pada Persamaan (1), berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surface dry) dengan Persamaan (2), berat jenis semu (apparent specific gravity) dengan

Persamaan (3) serta penyerapan air dengan Persamaan (4).

$$\text{Berat jenis} = Bk / (B + Bs - Bt) \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = Bs / (B + Bs - Bt) \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Berat jenis semu} = Bk / (B + Bk - Bt) \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{Penyerapan air} = (Bs - Bk) / Bk \times 100 \% \dots\dots\dots (4)$$

- Keterangan : Bk = berat sampel kering oven (gram)
 Bs = berat sampel kondisi SSD (gram)
 B = berat piknometer berisi air (gram)
 Bt = berat piknometer berisi sampel dan air (gram)

Pengujian mutu bata beton dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu pengukuran dimensi panjang, lebar dan tebal, pengujian kuat tekan dan pengujian daya serap air. Pengukuran tebal dilakukan terhadap tiga tempat yang berbeda dan diambil nilai rata-rata. Setelah pengukuran dimensi, dilakukan uji kuat tekan dengan alat *universal testing machine*. Kuat tekan rata-rata dari contoh bata beton dihitung dari jumlah kuat tekan dibagi jumlah contoh uji. Perhitungan nilai kuat tekan dihitung dengan Persamaan (5).

$$\text{Kuat tekan} = P/L \dots\dots\dots (5)$$

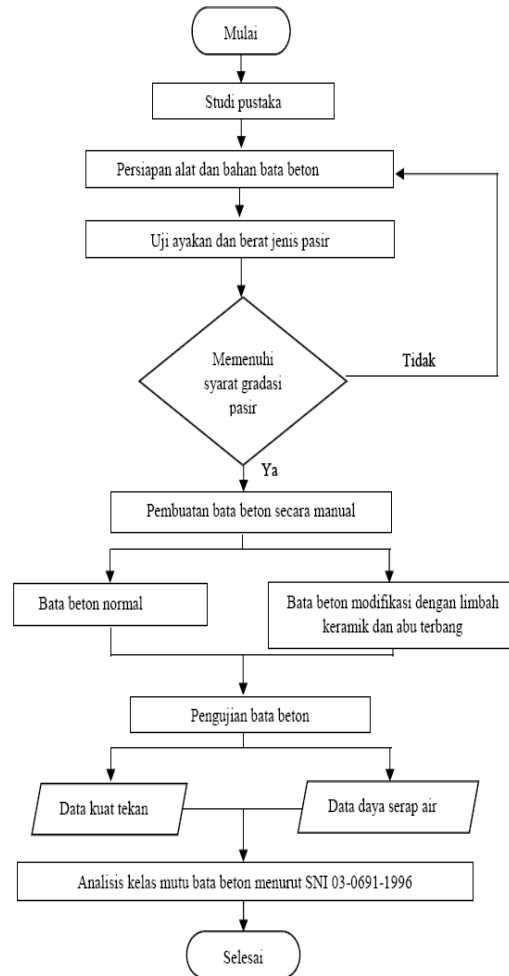
- Keterangan : P = beban tekan (N)
 L = luas bidang tekan (mm²)

Kemudian, untuk pengujian daya serap air, benda uji dalam keadaan utuh direndam dalam air hingga jenuh (24 jam), kemudian ditimbang beratnya dalam keadaan basah. Benda uji kemudian dikeringkan dalam oven selama kurang lebih 24 jam pada suhu kurang lebih 105 °C sampai beratnya pada dua kali penimbangan berselisih tidak lebih dari 0.2% penimbangan terdahulu. Penyerapan air dihitung dengan Persamaan (6).

$$\text{Penyerapan air} = (A-B)/B \times 100 \% \dots (6)$$

- Keterangan : A = Berat bata beton basah (gram)
 B = Berat bata beton kering (gram)

Secara umum, metode yang dilakukan dalam penelitian ini disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3 Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut SNI 03-0691-1996, bata beton atau bata beton adalah suatu komponen bahan bangunan yang dibuat dari bahan campuran semen *portland* atau bahan perekat lainnya, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lain yang tidak mengurangi mutu bata beton tersebut. Limbah keramik dan abu terbang dapat digunakan sebagai alternatif bahan pengisi dalam suatu campuran pembuatan bata beton. Penambahan limbah keramik yang mengandung kapur dapat berfungsi sebagai pendukung abu

terbang yang juga berfungsi sebagai *pozolan* pengganti semen, namun fungsi utama kapur adalah plastis, dapat mengeras dan memberikan kekuatan mengikat, menghasilkan daya rekat yang bagus (Alfiansyah 2017).

Menurut ASTM C.618 (2003), abu terbang didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batubara atau bubuk batubara yang mengandung sedikit atau tidak mengandung semen, tetapi dalam keadaan halus bereaksi dengan air dan kapur padam pada suhu normal (240 – 270 °C) menjadi massa yang padat dan tidak larut dalam air. Salah satu sifat yang penting dari limbah padat keramik adalah bila dicampur dengan kapur atau semen dan air, dalam beberapa waktu pada suhu kamar dapat membentuk massa yang padat dan tidak larut dalam air, dari sifat inilah limbah padat keramik dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan, antara lain untuk campuran pembuatan beton, batako, maupun bata beton (Subekti 2009).

Karakteristik bahan dan benda uji

Agregat menjadi komponen penyusun pada bata beton yang tidak ikut bereaksi dengan semen dan air serta mengisi antara 60% sampai 80% dari total volume yang ada, sehingga agregat sering disebut juga dengan bahan pengisi. Gradasi agregat digunakan sebagai salah satu karakteristik dalam menentukan distribusi proporsi ukuran butiran agregat dalam suatu campuran beton agar tidak terdapat rongga (Sukirman 2003). Gradasi pasir sangat berpengaruh pada sifat pengerjaan dan mutu yang dihasilkan. Pada penelitian ini, untuk mendapatkan klasifikasi zona atau gradasi butir agregat halus menurut SK SNI T-15-1990-03, digunakan saringan dengan berbagai ukuran yaitu 9.6 mm, 4.8 mm, 2.4 mm, 1.2 mm, 0.6 mm, 0.3 mm dan 0.15 mm. Data hasil pengujian yang diperoleh pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil uji gradasi pasir

Ukuran saringan (mm)	Berat tertahan (gr)	Persentase (%)		
		Tertahan	Tertahan kumulatif	Lolos
9.60	0.00	0.00	0.00	100.00
4.80	19.00	3.80	3.80	96.20
2.40	29.00	5.80	9.60	90.40
1.20	80.00	16.00	25.60	74.40
0.60	135.00	27.00	52.60	47.40
0.30	106.00	21.20	73.80	26.20
0.15	81.00	16.20	90.00	10.00
Sisa	50.00	10.00	-	-
Modulus kehalusan				2.554

Berdasarkan data pada Tabel 1, diketahui bahwa persentase berat tertahan berbanding terbalik dengan persentase yang lolos. Hasil pengujian menunjukkan data gradasi pasir serta modulus kehalusan yang diperoleh termasuk ke dalam pasir agak kasar (zona 2). Selain pengujian gradasi pasir, juga dilakukan pengujian berat jenis pasir. Data hasil pengujian berat jenis pasir disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil pengujian dan perhitungan berat jenis pasir

Parameter	Nilai	Satuan
Pengujian :		
Berat benda uji SSD (Bs)	500.00	gr
Berat piknometer + air suling (B)	692.50	gr
Berat piknometer + air suling + benda uji SSD (Bt)	998.00	gr
Berat benda uji kering oven (Bk)	487.50	gr
Perhitungan :		
Berat jenis (bulk specific gravity)	2.51	-
Berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surface dry)	2.57	-
Berat jenis semu (apparent specific gravity)	2.68	-
Penyerapan	2.56	%

Menurut SNI 03-1968-1990 besarnya nilai berat jenis, berat jenis kering permukaan jenuh dan berat jenis semu minimal yaitu 2.5 sedangkan untuk penyerapan air harus kurang atau sama dengan 3 %. Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 2 dari perhitungan diketahui bahwa nilai berat jenis, berat jenis kering permukaan jenuh dan juga berat jenis semu telah memenuhi standar yaitu mencapai dan melebihi angka 2.5. Penyerapan air pasir yang digunakan

juga memenuhi standar yang ditetapkan yaitu kurang dari 3%.

Jumlah benda uji yang akan dibuat yaitu sebanyak 48 buah. Jumlah benda uji untuk pengujian kuat tekan yaitu 3 buah untuk setiap pengujian dan setiap komposisi, sedangkan 2 buah unyuk pengujian daya serap air. Pada penelitian ini digunakan abu terbang 9% berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Fitriana *et al.* (2016). Menurut Fitriana *et al.* (2016), abu terbang yang optimal untuk mendapatkan kuat tekan yang tinggi jika dicampurkan dengan kapur yaitu sebanyak 9%. Jumlah limbah keramik yang digunakan pada penelitian berdasarkan dari sistem *trial and error*. Jumlah limbah keramik yang digunakan yaitu 0%, 6%, 9%, 12% dan 15%. Perbandingan berat campuran yang digunakan untuk setiap pembuatan 8 buah bata beton disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Perbandingan berat campuran

Kode	Berat (gr)			
	Semen	Abu terbang	Keramik	Pasir
1	5000	0	0	10000
2	4550	450	0	10000
3	4250	450	300	10000
4	4100	450	450	10000
5	3950	450	600	10000
6	3800	450	750	10000
Jumlah	25650	2250	2100	60000

Pengukuran Dimensi dan Berat

Pada proses pembuatan bata beton, perlu dilakukan pengujian kuat tekan dan daya serap air. Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan terlebih dahulu dilakukan pengukuran dimensi untuk tiap komposisi bata beton. Data hasil pengukuran dimensi rata-rata bata beton disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil pengukuran dimensi rata-rata bata beton

Kode	Komposisi campuran (%)				Lebar rata-rata (cm)	Panjang rata-rata (cm)	Tebal rata-rata (cm)	Berat rata-rata (gr)
	Limbah keramik	Abu terbang	Semen	Pasir				
1	0	0	100	100	10.152	20.103	5.818	2172.00
2	0	9	91	100	10.059	19.968	5.758	1993.80
3	6	9	85	100	10.154	20.037	5.856	2081.40
4	9	9	82	100	10.149	20.056	5.888	2023.10
5	12	9	79	100	10.073	19.981	5.818	1974.40
6	15	9	76	100	10.100	20.021	5.806	2049.40

Berdasarkan data pada Tabel 4, diketahui bahwa dimensi yang terukur berbeda-beda dan tidak sama persis

dengan yang direncanakan. Hal ini dapat disebabkan karena berbagai faktor seperti pemadatan yang kurang merata dalam pencetakan maupun kurangnya ketelitian dalam pembacaan alat. Menurut data yang ada pada Tabel 4, diketahui rata-rata tebal benda uji berkisar antara 5.758 cm hingga 5.888 cm. Tebal bata beton memiliki toleransi $\pm 8\%$ dari tebal rencana, yaitu 8% dari 6 cm sebesar 0.48 mm. Dengan demikian, dimensi bata beton yang diperoleh memenuhi syarat yang telah ditentukan. Setelah pengukuran dimensi, dilakukan juga pengukuran terhadap berat bata beton sebelum pengujian kuat tekan dan daya serap air.

Tabel 4 menunjukkan bahwa bata beton normal memiliki berat rata-rata paling besar diantara yang lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa bata beton dengan campuran limbah keramik dan abu terbang memiliki bobot lebih ringan dibanding bata beton normal. Menurut SNI 03-2460-1991, berat jenis abu terbang berkisar antara 1.99 – 2.40 gram/cm³, sedangkan menurut Respati *et al.* (2014), berat jenis limbah keramik berkisar antara 1.20 – 1.33 gram/cm³. Hal ini menunjukkan bahwa berat jenis abu terbang dan limbah keramik lebih kecil dibandingkan dengan berat jenis semen *portland*. Menurut SNI 15-2049-2004, berat jenis semen *portland* yaitu 3.15 gram/cm³.

Semakin banyak limbah keramik yang digunakan, maka berat bata beton semakin ringan. Hal ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti pemadatan yang kurang merata, terdapatnya rongga udara yang mempengaruhi berat bata beton serta waktu pengeringan setiap bata beton yang berbeda. Oleh sebab itu, secara teori bata beton dengan campuran limbah keramik dan abu terbang akan lebih ringan dibandingkan bata beton normal. Setelah pengukuran berat dan dimensi, kemudian bata beton diuji kuat tekan dan daya serap airnya.

Kuat Tekan

Pada proses pembuatan bata beton, perlu dilakukan suatu pengujian untuk menentukan mutu dari bata beton yang dihasilkan, salah satunya yaitu uji kuat tekan. Kuat tekan yakni kemampuan beton dalam menerima gaya tekan persatuan luas yang akan menunjukkan mutu dari suatu struktur. Semakin tinggi nilai kuat tekannya semakin tinggi pula mutu yang didapatkan (Mulyono 2004).

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan alat uji *universal testing machine*. Pada penelitian ini, kuat tekan bata beton yang diharapkan mencapai kelas mutu B dengan kuat tekan minimal 17 MPa untuk diaplikasikan pada fungsi pelataran parkir atau fungsi yang lebih rendah. Pengujian kuat tekan bata beton dilakukan setelah umur bata beton 14 hari dan 28 hari. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh data kuat tekan rata-rata bata beton seperti pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil uji kuat tekan rata-rata bata beton

Kode	Komposisi campuran (%)			Kuat tekan rata-rata umur 14 hari (MPa)	Kuat tekan rata-rata umur 28 hari (MPa)
	Limbah keramik	Abu terbang	Semen Pasir		
1	0	0	100	23.21	23.63
2	0	9	91	24.55	25.41
3	6	9	85	16.03	26.56
4	9	9	82	20.77	24.03
5	12	9	79	17.05	19.20
6	15	9	76	13.13	18.55

Tabel 5 menunjukkan kuat tekan umur 28 hari mengalami peningkatan dari kuat tekan bata beton pada umur 14 hari. Semakin besar kuat tekan bata beton maka semakin besar pula beban yang mampu ditahan. Bata beton dengan campuran limbah keramik 0-15 % masih menghasilkan bata beton dengan kuat tekan yang cukup tinggi dan termasuk ke dalam kelas mutu B. Bata beton dengan kelas mutu B dapat diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari pada pelataran atau area parkir, sedangkan bata beton dengan kelas mutu C pada trotoar atau tempat pejalan kaki. Penggunaan abu

terbang sebagai pengganti agregat dapat menaikkan nilai kuat tekan, karena abu terbang yang lolos saringan No.200 mampu mengisi rongga yang ada pada campuran bata beton, sehingga membuat campuran lebih padat (Mulyati dan Maliar 2015). Namun, menurut penelitian yang pernah dilakukan oleh Fitriana *et al.* (2016) jumlah abu terbang yang optimal sebagai substituen semen yaitu 9%, sedangkan untuk campuran limbah keramik yang optimal untuk campuran bata beton pada penelitian ini yaitu sebesar 6%. Kuat tekan pada umur 28 hari dianggap sudah cukup sempurna untuk mengetahui kemampuan kuat tekan bata beton.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, campuran yang paling optimal yaitu bata beton dengan campuran 9% abu terbang dan 6% limbah keramik karena menghasilkan kuat tekan paling tinggi diantara yang lainnya yaitu 26.56 MPa. Semakin banyak limbah keramik yang ditambahkan, semakin menurun kekuatan tekan bata beton tersebut. Bata beton dengan campuran 9% abu terbang dan 0% limbah keramik juga memiliki kekuatan yang cukup tinggi dibandingkan bata beton normal. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan kuat tekan bata beton normal pada penelitian yaitu sebesar 23.63 Mpa dengan campuran 9% abu terbang dan 0% limbah keramik yang diperoleh pada penelitian ini yaitu 25.41 Mpa.

Daya Serap Air

Menurut SNI 03-0691-1996, daya serap air merupakan salah satu parameter yang menentukan kelas mutu dari bata beton. Bata beton dengan kelas mutu A disyaratkan memiliki daya serap air maksimum sebesar 3%, kelas mutu B maksimum 6%, kelas mutu C maksimum 8% dan kelas mutu D maksimum 10%. Rendahnya nilai daya serap air bata beton diharapkan dapat menjadikan bata beton lebih kuat dan tahan lama dalam pemakaiannya. Berdasarkan penelitian daya serap air bata beton yang

dilakukan, diperoleh data hasil pengujian seperti pada Tabel 6.

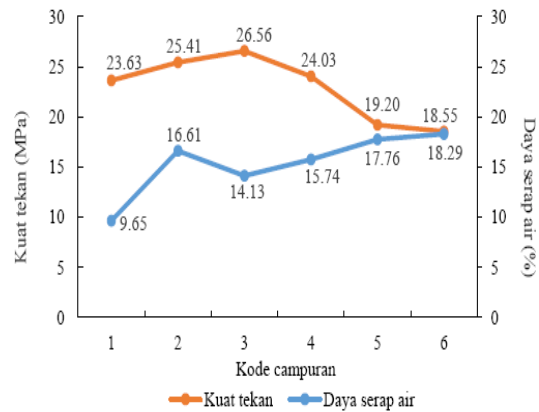
Tabel 6 Hasil uji daya serap air bata beton

Kode	Berat basah (gr)	Berat kering (gr)	Daya serap air (%)	Daya serap air rata-rata (%)
1	2246.50	2033.50	10.47	9.65
2	2282.50	2097.50	8.82	16.61
	2073.00	1779.50	16.49	
3	2152.00	1843.50	16.73	14.13
	2193.00	1924.50	13.95	
4	2173.00	1901.00	14.31	15.74
	2145.50	1858.00	15.47	
5	2144.50	1848.50	16.01	17.76
	2151.00	1829.50	17.57	
6	2149.50	1822.50	17.94	18.29
	2090.50	1765.50	18.41	
	2173.00	1839.00	18.16	

Data daya serap air yang dihasilkan bata beton pada penelitian ini tidak sesuai dengan persyaratan kelas mutu bata beton dalam SNI 03-0691-1996. Hal ini terjadi karena beberapa faktor seperti pemadatan yang kurang merata karena proses pembuatan benda uji yang dilakukan masih secara manual, daya serap abu terbang dan limbah keramik yang digunakan lebih besar dibandingkan dengan semen serta faktor perbandingan air semen yang digunakan dalam pembuatan benda uji bata beton.

Berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian, diketahui bahwa semakin banyak limbah keramik yang digunakan, maka daya serap air bata beton semakin tinggi. Menurut SNI 03-0691-1996, bata beton normal yang dibuat pada penelitian ini termasuk ke dalam kelas mutu D, sedangkan bata beton dengan campuran imbah keramik dan abu terbang memiliki daya serap air yang lebih tinggi dibandingkan standar dan tidak dapat diklasifikasikan dalam kelas mutu A, B, C ataupun D.

Grafik perbandingan kuat tekan dan daya serap air bata beton dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa semakin tinggi kuat tekan bata beton, maka daya serap airnya semakin kecil dan begitu juga sebaliknya. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kuat tekan dan daya serap air memiliki hubungan yang berbanding terbalik.



Gambar 4 Perbandingan kuat tekan dan daya serap air

Analisis Biaya

Biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan bata beton tergolong lebih murah dibandingkan dengan beton karena tidak menggunakan agregat kasar. Dalam pembuatan bata beton diperlukan beberapa bahan seperti pasir, semen, dan air, sedangkan dalam penelitian ini juga dibutuhkan limbah keramik dan abu terbang. Biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan bata beton normal pada penelitian ini disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7 Rincian biaya untuk pembuatan bata beton normal

No	Material	Jumlah (kg)	Harga satuan (Rp/kg)	Total (Rp)
1	Pasir	10.00	1,500	15,000
2	Semen Portland tipe 1	5.00	2,000	10,000
3	Abu terbang	0.00	500	0
4	Limbah keramik	0.00	0	0
Harga pembuatan 8 bata beton				25,000
Harga pembuatan 1 m ² bata beton				+ 156,000

Tabel 7 menunjukkan biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan bata beton normal pada penelitian ini. Berdasarkan rincian biaya pada Tabel 7, diketahui bahwa pada penelitian ini membutuhkan biaya sebesar Rp 25,000 dalam pembuatan 8 buah bata beton. Biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan bata beton yaitu sekitar Rp 156,000 /m².

Berbeda dengan bata beton normal, bata beton yang telah dimodifikasi dengan campuran 9% abu terbang dan 6% limbah keramik merupakan bata beton dengan campuran limbah keramik dan abu terbang yang optimal. Rincian biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan bata beton dengan

campuran 9% abu terbang dan 6% limbah keramik pada penelitian ini disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Rincian biaya untuk pembuatan bata beton dengan campuran 9% abu terbang dan 6% limbah keramik

No	Material	Jumlah (kg)	Harga satuan (Rp/kg)	Total (Rp)
1	Pasir	10.00	1,500	15,000
2	Semen Portland tipe 1	4.25	2,000	8,500
3	Abu terbang	0.45	500	225
4	Limbah keramik	0.30	0	0
Harga pembuatan 8 bata beton				23,725
Harga pembuatan 1 m ² bata beton				+ 148,000

Berdasarkan rincian biaya pada Tabel 8, dibutuhkan biaya sebesar Rp 23,725 untuk pembuatan 8 buah bata beton dengan campuran 9% abu terbang dan 6% limbah keramik. Biaya tersebut lebih murah sekitar Rp 1,300 daripada pembuatan bata beton normal, sehingga biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan bata beton yaitu Rp 148,000 /m². Dalam pembuatan 1 m² bata beton dengan campuran 6% limbah keramik dan 9% abu terbang lebih murah sekitar Rp 8,000 dibandingkan dengan bata beton normal.

Selain biayanya yang lebih murah, bata beton dengan campuran 6% limbah keramik dan 9% abu terbang memiliki kuat tekan dan daya serap air yang lebih tinggi dibandingkan dengan bata beton normal, lebih ramah lingkungan karena menggunakan bahan limbah keramik dan abu terbang sehingga mengurangi polusi, serta memiliki bobot yang lebih ringan dan mempermudah pemasangan.

Pada bata beton dengan campuran 6% limbah keramik dan 9% abu terbang mengurangi penggunaan semen sebesar 15% atau setara dengan 0.75 kg untuk setiap 10 buah bata beton. Selain mengurangi penggunaan semen, bata beton ini juga memanfaatkan limbah keramik sebanyak 0.3 kg untuk 10 buah bata beton atau setara dengan 1.5 kg per m² dan abu terbang sebanyak 0.45 kg untuk 10 buah bata beton. Pada

penelitian ini, bata beton dengan campuran abu terbang 9% dan limbah keramik 6 – 15% memiliki kuat tekan yang cukup tinggi dan tidak jauh berbeda dengan bata beton normal serta berada pada kelas mutu sama yaitu mutu B jika dilihat dari kuat tekan.

KESIMPULAN

Limbah keramik dan abu terbang dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen dengan kadar tertentu pada pembuatan bata beton. Kadar abu terbang dan limbah keramik yang paling optimal yaitu pada campuran 9% abu terbang dan 6% limbah keramik, karena menghasilkan kuat tekan tertinggi yaitu sebesar 26.56 MPa dan daya serap air terkecil 14.13%. Bata beton dengan campuran 6% limbah keramik dan 9% abu terbang dapat mengurangi penggunaan semen sebesar 15% atau setara dengan 3.75 kg per m² serta relatif lebih murah dibandingkan dengan bata beton normal. Selain biayanya yang lebih murah, bata beton dengan campuran 6% limbah keramik dan 9% abu terbang memiliki kuat tekan dan daya serap air yang lebih tinggi, lebih ramah lingkungan memiliki bobot yang lebih ringan sehingga mempermudah pemasangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akmalia R, Olivia M, Kamaldi A. 2016. Kuat tekan dan *sorptivity* beton dengan kulit kerang (*Anadara granosa*). *Jom FTEKNIK*. 3 (2) : 1-14.
- Alfiansyah A. 2017. Pengaruh kapur terhadap kuat tekan dan permeabilitas *paving block* geopolymer berbahan dasar abu terbang dan lumpur lapindo. *Rekayasa Teknik Sipil*. 1 (1) : 412-423.
- [ASTM] American Standard Testing and Material. 2003. *Standard Spesification for Fly Ash and Raw*

- or *Calcinated Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete ASTM-C618-03-2003*. Amerika Serikat (US) : American Standard Testing and Material.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 1996. Bata Beton (Paving Block) SNI 03-0691-1996. Jakarta (ID) : Badan Standardisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2004. Semen Portland SNI 15-2049-2004. Jakarta (ID) : Badan Standardisasi Nasional.
- [Dep PU] Departemen Pekerjaan Umum. 1990 a. Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar SNI 03-1968-1990. Jakarta (ID) : Yayasan LPMB.
- [Dep PU] Departemen Pekerjaan Umum. 1990 b. Metode Pengujian Kadar Agregat SNI 03-1971-1990. Jakarta (ID) : Yayasan LPMB.
- [Dep PU] Departemen Pekerjaan Umum. 1990 c. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal SK SNI T-15-1990-03. Bandung (ID) : Yayasan LPMB.
- [Dep PU] Departemen Pekerjaan Umum. 1991. Spesifikasi Abu Terbang Sebagai Bahan Tambahan Untuk Campuran Beton SNI 03-2460-1991. Jakarta (ID) : Yayasan LPMB.
- Fitriana R, Anjarwati S, Azizi A. 2016. Pengaruh penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan kapur terhadap kuat tekan *paving block*. *Prosiding Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT) 4 2016*. Purwokerto (ID) : Universitas Muhammadiyah Purwokerto. 612-616.
- Mulyati, Maliar S. 2015. Pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai pengganti agregat terhadap kuat tekan *paving block*. *Jurnal Momentum*. 17 (1) : 42-49.
- Mulyono T. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta (ID) : Andi.
- Nurzal, Taufik. 2016. Pengaruh lama pengeringan *paving block* dengan penambahan 5% *fly ash* terhadap kuat tekan (binder air mineral). *Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang*. 6 (1) : 43-49.
- [Puslitbang TMB] Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara. 2015. Statistik Keramik. <http://www.tekmira.esdm.go.id/data/komoditiStatistik.asp?xdir=Keramik&commId=23&comm=Keramik>[di akses tanggal 21 Agustus 2017].
- Respati SMB, Soenoko R, Irawan YS, Suprpto W. 2015. Pengaruh persentase zeolit alam terhadap *shrinkage* matrik alumina zeolit alam keramik komposit. *Prosiding SNST ke-5 Tahun 2014*. Semarang (ID) : Universitas Wahid Hasyim. 90-94.
- Subekti S. 2009. Limbah padat keramik sebagai bahan campuran batako ditinjau terhadap kuat tekan. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah 2009*. Surabaya (ID) : Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 529-534.
- Sukirman S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta (ID) : Yayasan Obor Indonesia

