

PENGARUH PERBEDAAN KUALITAS LIMBAH KERAMIK TERHADAP SIFAT MEKANIS BLOK PERKERASAN (THE EFFECT OF DIFFERENT QUALITY OF CERAMIC WASTE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF PAVING BLOCK)

Irfan Prasetya¹⁾, Rholly Akhrizani Akhbar²⁾

^{1),2)}Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat

^{1),2)}Jl. Brigjen Hasan Basri, Pangeran, Kec. Banjarmasin Utara, Kota Banjarmasin

¹⁾iprasetya@ulm.ac.id, ²⁾rhollyakhrizaniakhbar@gmail.com

Diterima: 10 Februari 2023 ; direvisi: 4 April 2023; disetujui: 28 April 2023.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perbedaan limbah keramik (jenis BIa dan BIIB) yang digunakan sebagai pengganti pasir sebesar 15%, terhadap sifat mekanis blok perkerasan dan pemanfaatannya pada industri konstruksi. Pada penelitian menggunakan dua jenis sampel yaitu mortar (50x50x50 mm) dan blok perkerasan (210x110x60 mm). Pada sampel mortar digunakan kombinasi limbah keramik 25% BIa dan 75% BIIB (M1), 50% BIa dan 50% BIIB (M2), 75% BIa dan 25% BIIB (M3), 100% BIa (M4) dan 100% BIIB (M5). Sedangkan untuk blok perkerasan digunakan variasi 50% BIa dan 50% BIIB (BB1), 75% BIa dan 25% BIIB (BB2) serta 100% BIa (BB3). Sifat mekanis dianalisis berdasarkan pengujian kuat tekan untuk kedua sampel dan juga penyerapan air untuk sampel blok perkerasan. Dari hasil penelitian diketahui bahwa perbedaan kualitas limbah keramik berpengaruh terhadap nilai kuat tekan, yang dikonfirmasi dengan pengujian kuat tekan dan pengujian ANOVA. Sampel M4 memiliki kuat tekan tertinggi untuk sampel mortar yaitu 16 MPa, sedangkan sampel BB3 memiliki kuat tekan tertinggi untuk sampel blok perkerasan sebesar 25 MPa. Namun, hasil kuat tekan dan penyerapan sampel BB2 dan BB3 dapat dikategorikan ke dalam mutu yang sama yaitu mutu B berdasarkan SNI 03-0691-1996. Sehingga variasi BB2 lebih direkomendasikan untuk diaplikasikan sebagai material pembuatan lahan parkir. Hal ini terutama karena jumlah keramik jenis BIa relatif lebih sedikit bila dibandingkan dengan keramik jenis BIIB. Adapun sebagai material pembuatan jalur pejalan kaki dapat menggunakan variasi BB1.

Kata Kunci: limbah keramik BIa dan BIIB, kuat tekan, penyerapan air, blok perkerasan, mortar

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of ceramic waste differences (types BIa and BIIB) as substitute for sand by 15% on the mechanical properties of paving block and their utilization in construction industry. Two types of samples were used: mortar (50x50x50 mm) and paving block (210x110x60 mm). The mortar sample variations were 25% BIa and 75% BIIB (M1), 50% BIa and 50% BIIB (M2), 75% BIa and 25% BIIB (M3), 100% BIa (M4) and 100% BIIB (M5). The paving block sample variations were 50% BIa and 50% BIIB (BB1), 75% BIa and 25% BIIB (BB2), and 100% BIa (BB3). Mechanical properties were analyzed according to the compressive strength test for both samples and also water absorption for paving block samples. The difference in the quality of ceramic waste affects the compressive strength, which was confirmed by compressive strength test and ANOVA test. The M4 had the highest compressive strength (16 MPa) for mortar sample, while BB3 had the highest compressive strength (25 MPa) for paving block sample. However, based on BB2 and BB3 compressive strength and absorption tests, the two samples can be categorized into the same quality (B quality) based on SNI 03-0691-1996. Thus, BB2 variation is recommended to be applied as material for making parking lots. This is due to the number of BIa-type ceramics being relatively less when compared to BIIB. For pedestrian paths, variation of BB1 is proposed.

Keywords: ceramic waste BIa and BIIB, compressive strength, water absorption, paving block, mortar

PENDAHULUAN

Berdasarkan laporan dari Kelompok Kerja II pada *6th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), dalam waktu dekat pemanasan global akan mengakibatkan peningkatan suhu bumi hingga lebih dari 1,5°C (IPCC 2022). Indonesia juga tidak luput dari pengaruh perubahan iklim global. Seperti yang dilaporkan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), periode 2011 sd 2021 terdapat peningkatan bencana alam di Indonesia yang diakibatkan oleh perubahan iklim (The Ministry of Environmental and Forestry Republic of Indonesia 2022).

Salah satu sektor yang berkontribusi terhadap pemanasan global adalah industri konstruksi. Berdasarkan laporan dari United Nations Environment Programme (UNEP), peningkatan kebutuhan energi terkait pembangunan di tahun 2021 meningkat sangat pesat dibandingkan 10 tahun terakhir (UNEP 2022). Selain penggunaan energi yang besar, industri konstruksi juga berperan dalam eksploitasi sumber daya alam, yang pada akhirnya dapat merusak ekosistem. *Organization for Economic Co-operation and Development* (OECD) telah memprediksi bahwa hingga 2060 konsumsi global terkait material mentah untuk konstruksi (seperti pasir, kerikil, kapur, dll.) akan meningkat sangat signifikan (OECD 2019). Untuk menanggulangi hal tersebut, perlu dilakukan strategi efisiensi penggunaan material konstruksi (Hertwich, Lifset, dan Heeren 2020). Hal ini penting dilakukan agar ekosistem terjaga dengan baik sehingga dapat mengurangi efek pemanasan global.

Bahan bangunan yang sering dimanfaatkan dalam pembangunan adalah blok perkerasan (*Paving block*). Blok perkerasan digunakan sebagai penutup lapisan permukaan khususnya pada pembuatan jalan di kawasan pemukiman. Kemudahan dalam pembuatan dan pengaplikasian di lapangan serta pemanfaatan yang sangat luas menjadikan blok perkerasan sangat diminati untuk pembuatan jalan. Sangat sedikit batasan terkait pemanfaatan blok perkerasan. Tidak hanya untuk pembuatan jalan tetapi juga dapat digunakan untuk pembuatan trotoar, taman, halaman rumah dan tempat parkir.

Inovasi terkait blok perkerasan telah banyak diteliti. Penelitian tidak hanya terkait komposisi material pembuatan blok perkerasan (Multazzam dan Saelan 2015), tetapi terkait inovasi alat pembuatan blok perkerasan (Deshariyanto dan Akbar 2020), hingga alternatif material yang digunakan dalam produksi blok perkerasan (Firmanti dkk. 2012; Kumar dan Kumar 2013; Fathi 2014; Aini S 2014; Witarso dan Lasino 2015; Prasetya dan Krasna 2016; Nath 2020; Prasetya, Syauqi, dan Aini 2021). Adapun alternatif material yang dapat digunakan seperti material dari limbah industri maupun dari daur ulang material konstruksi.

Dari hasil penelitian sebelumnya, dapat diketahui bahwa pemanfaatan alternatif material tersebut dapat mengurangi penggunaan material dari alam. Selain itu, juga dapat memberikan nilai kuat tekan yang lebih tinggi (Ulubeyli, Bilir, and Artir 2016; Rashad 2016; Prasetya 2017; Prasetya dan Maulana 2019; Prasetya dan Rizani 2019; Prasetya 2019; Patil dan Sathe 2020; Muthusamy et al. 2020; Prasetya, Putera, dan Pratiwi 2022; Solouki, Tataranni, dan Sangiorgi 2022). Sehingga, penggunaan alternatif material ini dapat memberikan dampak yang baik terhadap lingkungan dan kualitas produk.

Salah satu alternatif material pembuatan blok perkerasan yang dapat digunakan yaitu limbah keramik. Sekitar 100 juta ton keramik diproduksi setiap tahunnya di seluruh dunia, dan kurang lebih 15% sd 30% menjadi limbah yang tidak terpakai (Awoyera et al. 2021). Di Indonesia limbah keramik juga sangat banyak ditemukan (Putri dan Imastuti 2017; Rifai, Armandha, dan Rakhmawati 2019). Terdapat dua macam limbah keramik, yaitu limbah cair dari proses penghalusan permukaan keramik saat produksi, dan limbah padat yang berasal dari cacat produksi maupun dari hasil kegiatan konstruksi (Septiandini dan Sofiah 2006). Kedua macam limbah ini dapat digunakan sebagai alternatif material baik sebagai campuran blok perkerasan maupun beton (Penteado, Viviani de Carvalho, dan Lintz 2016; Li et al. 2020).

Pada campuran pembuatan blok perkerasan, limbah keramik dapat digunakan sebagai bahan tambah atau sebagai bahan pengganti semen dan pasir. Hal ini karena limbah keramik memiliki kandungan silika

(SiO₂) yang tinggi sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai material pozzolan yang memiliki sifat penyemenan (Ray et al. 2021). Sehingga blok perkerasan dengan campuran limbah keramik memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi. Bahkan, dapat digunakan untuk pembuatan jalan yang dilalui kendaraan berat (Dubale et al. 2022).

Penambahan 15% sd 20% limbah keramik dalam campuran blok perkerasan maupun mortar dapat memberikan peningkatan kuat tekan yang signifikan dari campuran normal (Putri dan Imastuti 2017; Rubio de Hita dkk. 2017). Adapun sebagai bahan pengganti, penggantian maksimal 5% semen dengan limbah keramik dapat memberikan peningkatan kekuatan blok perkerasan, sedangkan penggantian hingga 30% pasir dengan limbah keramik dapat memberikan peningkatan yang lebih signifikan (Penteado, Viviani de Carvalho, and Lintz 2016). Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa penggantian semen dengan limbah keramik dapat dilakukan hingga 15% (Septiandini dan Sofiah 2006). Sedangkan penggantian pasir dengan limbah keramik dapat dilakukan hingga 50% (Rifai, Arnandha, dan Rakhmawati 2019). Perbedaan hasil beberapa penelitian ini dapat disebabkan karena perbedaan mutu dan kandungan kimia dari limbah tersebut.

Meskipun telah banyak penelitian yang dilakukan dengan menggunakan campuran limbah keramik, tetapi belum ada penelitian terkait pengaruh kombinasi limbah keramik dengan kualitas yang berbeda terhadap sifat mekanis blok perkerasan yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan sifat mekanis blok perkerasan dengan menggunakan limbah keramik dari 2 (dua) sumber keramik yang berbeda yaitu keramik jenis B1a dan B1b berdasarkan pengelompokan Keramik dari SNI ISO 13006:2010 (BSN 2010). Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi pemanfaatan keramik dengan kualitas yang berbeda. Selain itu, penelitian ini juga dimaksudkan untuk mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs).

HIPOTESIS

Kualitas limbah keramik yang digunakan dalam pembuatan blok perkerasan akan

memberikan pengaruh terhadap kualitas blok perkerasan yang dihasilkan. Pengaruh terhadap kualitas blok perkerasan lebih kepada sifat mekanis blok perkerasan khususnya terkait kuat tekan dan penyerapan air (Rifai, Arnandha, dan Rakhmawati 2019). Semakin baik mutu limbah keramik yang digunakan akan membuat sifat mekanis blok perkerasan semakin meningkat.

METODOLOGI

Material

Pada penelitian ini jenis semen yang digunakan yaitu *portland composite cement* (PCC). Adapun untuk agregat halus digunakan pasir dari Sungai Barito, Kalimantan Selatan. Limbah keramik yang digunakan berasal dari dua jenis keramik yang berbeda yaitu B1a dan B1b berdasarkan pengelompokan SNI ISO 13006:2010 (BSN 2010). Keramik B1a dan B1b dibuat dengan metode ubin yang dipres-kering. Limbah keramik dikumpulkan dari beberapa perumahan di Kota Banjarbaru, Kalimantan Selatan. Limbah didapatkan dalam bentuk pecahan atau potongan, sehingga harus dihaluskan dengan mesin *Los Angeles* kemudian disaring dengan saringan No. 4 agar masuk kategori agregat halus. Syarat mutu ubin keramik B1a dan B1b dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Syarat mutu ubin keramik pres-kering

No	Persyaratan	Jenis Keramik	
		B1a	B1b
1	Mutu Permukaan	Minimum 95 % dari ubin harus tanpa cacat	
2	Penyerapan air	< 0,5 %	6 % < E ≤ 10 %
3	Kuat patah, dalam N		
	a) Ketebalan ≥ 7,5 mm	1300	800
	b) Ketebalan < 7,5 mm	700	500
4	Modulus lentur, dalam N/mm ²	35	18

Sumber: SNI ISO 13006:2010

Metode

Penelitian dilakukan dalam 2 (dua) tahap. Tahap pertama penelitian dilakukan dengan sampel mortar (M) dengan bentuk kubus dimensi 50 x 50 x 50 mm. Tahap kedua penelitian dengan sampel blok perkerasan (BB) dengan dimensi 210 x 110 x 60 mm. Perbedaan jenis sampel ini dilakukan untuk mendapatkan

perbandingan antara pengaruh campuran limbah keramik dengan bentuk sampel yang berbeda.

Pada sampel mortar dan blok perkerasan, digunakan rasio perbandingan semen dan pasir 1:3 dengan faktor air semen (fas) 0.4. Adapun penggantian pasir dengan limbah keramik ditetapkan sama untuk semua sampel sebesar 15%. Untuk perawatan sampel mortar dengan metode perendaman selama 7 dan 28 hari sedangkan sampel blok perkerasan selama 28 hari. Pembuatan sampel mortar berdasarkan SNI 03-6825-2002 (BSN 2002) sedangkan sampel blok perkerasan berdasarkan SNI 03-0691-1996 (BSN 1996).

Sampel mortar dibuat ke dalam 6 variasi yaitu 1 variasi mortar normal (M0) dan 5 variasi campuran dengan limbah keramik, dengan jumlah sampel pada masing-masing variasi sebanyak 5 sampel. Untuk variasi campuran limbah keramik yang digunakan pada sampel mortar yaitu:

1. M0 dengan 0% BIa dan 0% BIb
2. M1 dengan 25% BIa dan 75% BIb
3. M2 dengan 50% BIa dan 50% BIb
4. M3 dengan 75% BIa dan 25% BIb
5. M4 dengan 100% BIa dan 0% BIb
6. M5 dengan 0% BIa dan 100% BIb

Adapun untuk sampel blok perkerasan dibuat ke dalam 3 variasi dengan masing-masing variasi berjumlah 10 sampel. Variasi campuran limbah keramik pada sampel blok perkerasan yaitu:

1. BB1 dengan 50% BIa dan 50% BIb
2. BB2 dengan 75% BIa dan 25% BIb
3. BB3 dengan 100% BIa dan 0% BIb

Variasi proporsi limbah keramik dimaksudkan agar dapat mengetahui pengaruh masing-masing limbah keramik dan juga kombinasi keduanya terhadap sifat mekanis mortar dan blok perkerasan. Proporsi campuran mortar dan blok perkerasan dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Proporsi campuran sampel mortar

No	Kode Sampel	Semen (gr)	Pasir (gr)	Limbah Keramik	
				BIa (gr)/persen	BIb (gr)/persen
1	M0		1500	0 (0%)	0 (0%)
2	M1			56,25 (25%)	168,75 (75%)
3	M2	500		112,5 (50%)	112,5 (50%)
4	M3		1275	168,75 (75%)	56,25 (25%)
5	M4			225 (100%)	0 (0%)
6	M5			0 (0%)	225 (100%)

Tabel 3. Proporsi campuran sampel blok perkerasan

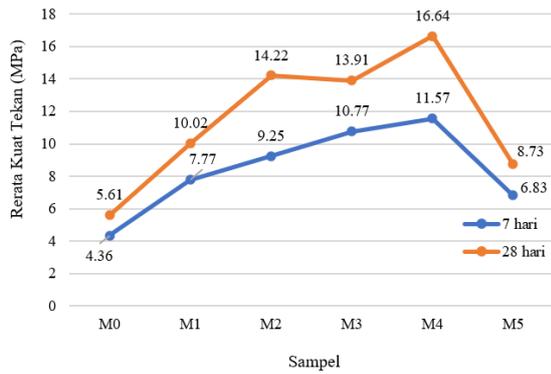
No	Kode Sampel	Semen (gr)	Pasir (gr)	Limbah Keramik	
				BIa (gr)/persen	BIb (gr)/persen
1	BB1			239,625 (50%)	239,625 (50%)
2	BB2	1065	2715,75	359,438 (75%)	119,812 (25%)
3	BB3			479,25 (100%)	0 (0%)

Untuk mengetahui pengaruh limbah keramik terhadap sifat mekanis sampel mortar, dilakukan pengujian kuat tekan berdasarkan SNI 03-6825-2002 (BSN 2002). Adapun terkait sampel blok perkerasan, akan dilakukan dua pengujian yaitu pengujian kuat tekan dan penyerapan air berdasarkan SNI 03-0691-1996 (BSN 1996). Pengujian kuat tekan mortar dilakukan dengan alat *load cell* dan kuat tekan blok perkerasan dengan mesin tekan beton.

HASIL DAN ANALISIS

Pengujian Kuat Tekan Mortar

Hasil pengujian sampel mortar dapat dilihat pada Gambar 1. Adapun persentase peningkatan kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 4. Secara umum dapat terlihat adanya peningkatan kuat tekan mortar seiring dengan bertambahnya campuran limbah keramik yang digunakan. Pola tersebut dapat diamati pada semua sampel dengan waktu perawatan 7 dan 28 hari, kecuali untuk sampel M3 pada 28 hari.



Gambar 1. Hasil kuat tekan sampel mortar

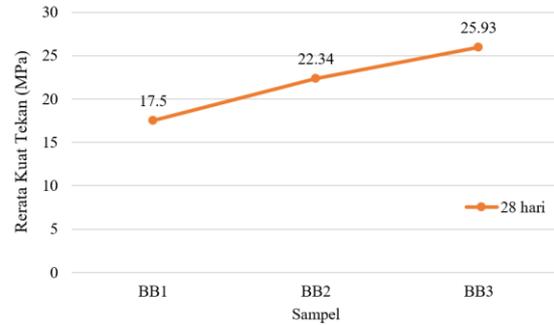
Tabel 4. Peningkatan kuat tekan sampel mortar

No	Kode Sampel	Perawatan Sampel	
		7 hari	28 hari
1	M0	0%	0%
2	M1	78%	79%
3	M2	112%	153%
4	M3	147%	148%
5	M4	165%	197%
6	M5	57%	56%

Dari hasil pengujian ini terlihat bahwa mutu dari sumber limbah keramik berpengaruh terhadap nilai kuat tekan mortar yang dihasilkan. Keramik B1a memiliki nilai penyerapan air yang lebih kecil dan nilai kuat patah yang lebih besar dibandingkan dengan keramik B1b (Tabel 1). Berdasarkan data Tabel 4, Penggunaan 100% campuran limbah B1a (M4) memberikan peningkatan hingga 197%. Sedangkan 100% campuran limbah B1b (M5) memberikan peningkatan sekitar 57%. Adapun untuk kombinasi campuran B1a dan B1b juga menunjukkan hasil yang sama. Semakin besar persentase limbah B1a, maka persentase peningkatan kuat tekan juga semakin tinggi.

Pengujian Kuat Tekan Blok Perkerasan

Sama halnya dengan hasil pengujian kuat tekan mortar, hasil pengujian kuat tekan untuk sampel blok perkerasan juga menunjukkan pengaruh perbedaan mutu sumber limbah keramik terhadap peningkatan kuat tekan blok perkerasan. Semakin besar persentase limbah keramik B1a yang digunakan, maka akan semakin besar pula kuat tekan yang dihasilkan. Hasil pengujian sampel blok perkerasan dapat dilihat pada Gambar 2. Adapun persentase peningkatan kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.



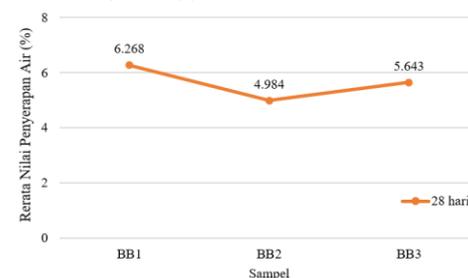
Gambar 2. Hasil kuat tekan sampel blok perkerasan

Tabel 5. Peningkatan kuat tekan sampel blok perkerasan

No	Kode Sampel	Perawatan Sampel
		28 hari
1	BB1	0%
2	BB2	28%
3	BB3	48%

Pengujian Penyerapan Air Blok Perkerasan

Hasil pengujian penyerapan air sampel blok perkerasan dapat dilihat pada Gambar 3. Dari hasil pengujian dapat terlihat bahwa penggunaan limbah keramik dari jenis keramik B1b akan meningkatkan penyerapan air dari blok perkerasan yang dihasilkan. Namun, terlihat bahwa peningkatan ini tidak signifikan. Secara umum penyerapan air dari blok perkerasan dengan limbah keramik berkisar antara 5% sd 6%.



Gambar 3. Hasil Pengujian Penyerapan Air

Pengujian ANOVA

Untuk memastikan adanya pengaruh variasi campuran limbah keramik terhadap kuat tekan mortar dan blok perkerasan, maka perlu untuk dilakukan uji statistik data. Dalam penelitian ini uji statistik dilakukan dengan menggunakan metode uji ANOVA. Pengujian dilakukan terhadap data kuat tekan yang dihasilkan oleh masing-masing sampel pada pengujian mortar dan juga blok perkerasan.

Karena pada pengujian mortar menggunakan 2 (dua) waktu perendaman yaitu 7 dan 28 hari, maka untuk sampel mortar akan dilakukan dengan metode uji ANOVA 2 (dua) arah dengan replikasi. Adapun untuk pengujian data kuat tekan blok perkerasan dilakukan dengan metode uji ANOVA 1 (satu) arah. Sebagai tambahan, pada sampel blok perkerasan juga akan dilakukan uji ANOVA 1 (satu) arah untuk data Penyerapan Air.

Pada metode uji ANOVA digunakan hipotesis sebagai berikut:

H0: Perlakuan tidak berpengaruh signifikan

H1: Perlakuan berpengaruh signifikan

Ada dua data yang akan menjadi rujukan yaitu nilai P-value dan nilai F dari hasil uji ANOVA. Nilai H0 diterima dan H1 ditolak jika nilai P-value > 0.05 dan nilai F hitung < F tabel (F crit). Sedangkan nilai H0 ditolak dan H1 diterima jika nilai P-value < 0.05 dan nilai F hitung > F tabel (F crit). Hasil pengujian ANOVA kuat tekan sampel mortar dapat dilihat pada Tabel 6. Untuk hasil pengujian ANOVA kuat tekan sampel blok perkerasan dapat dilihat pada Tabel 7. Adapun hasil pengujian ANOVA penyerapan air sampel blok perkerasan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 6. Uji ANOVA kuat tekan mortar

	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Hari	172.83	1	172.83	60.82	0.00	4.00
Variasi Campuran	679.64	5	135.93	47.83	0.00	2.37
Hari vs Variasi Campuran	38.87	5	7.77	2.74	0.03	2.37
Error	170.50	60	2.84			
Total	1061.84	71				

Tabel 7. Uji ANOVA kuat tekan blok perkerasan

	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Variasi Campuran	358.60	2	179.30	58.10	0.00	3.35
Error	83.32	27	3.09			
Total	441.93	29				

Tabel 8. Uji ANOVA penyerapan air blok perkerasan

	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Variasi Campuran	4.12	2	2.06	4.82	0.03	3.89
Error	5.13	12	0.43			
Total	9.25	14				

Berdasarkan Tabel 6 sd Tabel 8 diketahui bahwa hasil pengujian ANOVA pada data kuat tekan sampel mortar didapatkan nilai P-value < 0.05 dan nilai F hitung > F tabel (F crit) sehingga H0 ditolak dan H1 diterima. Hasil pengujian ANOVA untuk data kuat tekan dan penyerapan air pada sampel blok perkerasan juga memberikan hasil yang sama dengan pengujian pada sampel mortar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi campuran berpengaruh terhadap kuat tekan baik sampel mortar dan sampel blok perkerasan. Sebagai tambahan, lama waktu perendaman juga diketahui berpengaruh terhadap kuat tekan mortar.

PEMBAHASAN

Data pengujian sampel kuat tekan mortar menunjukkan bahwa penggantian pasir dengan limbah keramik memberikan efek peningkatan kekuatan yang signifikan. Hal ini sejalan dengan temuan peneliti lain. Seperti yang telah dilakukan oleh Rifai, Arnandha, dan Rakhmawati (2019), penggantian 50% pasir dengan limbah keramik dapat meningkatkan kuat tekan blok perkerasan hingga 40% dan memiliki penyerapan air terkecil sebesar 4%. Selain itu, penelitian dengan lebih dari 1 (satu) jenis keramik dilakukan oleh Penteado, Viviani de Carvalho, and Lintz (2016). Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa penggantian 30% pasir dengan limbah keramik dapat meningkatkan kuat tekan blok perkerasan hingga 12% khususnya untuk limbah keramik dengan jenis keramik porselen. Akan tetapi dari kedua penelitian tersebut belum diketahui pengaruh kualitas limbah keramik yang digunakan terhadap kuat tekan blok perkerasan.

Hasil penelitian ini (Gambar 1) menunjukkan pengaruh perbedaan kualitas limbah keramik terhadap peningkatan kuat tekan. Pada sampel mortar dengan 100% limbah BIa (M4) dan 100% limbah BIIB (M5) terlihat bahwa mutu keramik yang lebih baik

akan menghasilkan peningkatan yang lebih signifikan. Akan tetapi, bila dibandingkan dengan sampel kontrol (M0) kuat tekan sampel M5 pada waktu perawatan 7 hari bahkan lebih tinggi dibandingkan dengan M0 pada waktu perawatan 28 hari.

Kemudian, dari hasil uji kuat tekan blok perkerasan, penggunaan 100% limbah B1a (BB3) memberikan nilai kuat tekan yang paling tinggi. Sekali lagi pengaruh kualitas limbah yang digunakan dapat terlihat jelas. Namun, yang perlu diperhatikan juga adalah terkait ketersediaan limbah keramik B1a. Penggunaan keramik jenis B1a relatif lebih sedikit bila dibandingkan dengan keramik jenis B11b. Hal ini tentu akan mempengaruhi ketersediaan limbah keramik ini.

Untuk hasil kuat tekan sampel dengan 75% limbah B1a dan 25% limbah B11b (BB2) memberikan nilai kuat tekan yang terbilang cukup tinggi. Berdasarkan mutu blok perkerasan SNI 03-0691-1996 (BSN 1996) sampel BB2 dan BB3 dapat dikategorikan dalam mutu blok perkerasan yang sama yaitu mutu B dengan kuat tekan rata-rata minimal 20 MPa. Blok perkerasan mutu B dapat digunakan untuk pembuatan lahan parkir. Sehingga komposisi sampel BB2 lebih dapat diaplikasikan di lapangan terkait keterbatasan limbah B1a. Adapun untuk sampel BB1 dapat dikategorikan ke dalam mutu C dengan kuat rata-rata minimal 15 MPa. Mutu C dapat digunakan untuk pejalan kaki.

Selain itu, dari hasil pengujian kuat tekan dapat diketahui bahwa pemanfaatan kombinasi dari dua jenis kualitas keramik yang berbeda akan memberikan pengaruh terhadap kuat tekan. Hasil pengujian ini dikonfirmasi oleh hasil pengujian ANOVA yang dilakukan (Tabel 6 dan Tabel 7). Variasi campuran berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan baik untuk sampel mortar dan blok perkerasan. Dari hasil pengujian ANOVA juga mengkonfirmasi bahwa lama waktu perendaman berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan (Tabel 6). Informasi ini dapat dijadikan rujukan untuk penentuan kekuatan blok perkerasan terkait dengan lama waktu penyimpanan di tempat produksi. Walaupun terkait hal ini masih perlu pengujian lanjutan terkait sampel blok perkerasan dengan waktu perawatan yang berbeda.

Dari segi perbedaan bentuk sampel, terlihat bahwa terdapat perbedaan hasil kuat tekan antara bentuk mortar dan juga blok perkerasan. Perbedaan ukuran dari kedua sampel dapat menjadi penyebab munculnya perbedaan kekuatan tersebut. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, diketahui bahwa variasi bentuk dan ukuran blok perkerasan (khususnya ketebalan) dapat memberikan efek perbedaan hasil uji kuat tekan (Putra, Kurniawandy, dan Azhari 2013; Yanita dan Andreas 2017). Selain itu, dari penelitian Barkiah dan Yasin (2020) dapat diketahui bahwa perbedaan ukuran karena metode pengujian yaitu dengan ukuran asli dan ukuran SNI 03-0691-1996 juga dapat menghasilkan perbedaan kekuatan sehingga perlu ditentukan suatu nilai konversi bentuk blok perkerasan asli terhadap kuat tekan pengujian dalam bentuk sampel SNI 03-0691-1996.

Dengan adanya perbedaan ukuran, maka perbedaan perlakuan pemadatan bisa saja terjadi. Ukuran yang lebih kecil cenderung lebih sukar untuk dilakukan pemadatan. Sehingga kuat tekan mortar yang lebih kecil dapat disebabkan oleh kurang padatnya sampel mortar dibandingkan dengan sampel blok perkerasan. Namun, seperti yang disampaikan sebelumnya, pola pengaruh limbah keramik terhadap kuat tekan antara kedua sampel tidak berbeda.

Adapun untuk pengujian penyerapan air blok perkerasan dengan sampel limbah keramik, terlihat bahwa penyerapan blok perkerasan cukup rendah. Untuk sampel BB1 yang tergolong mutu C didapatkan penyerapan air sebesar 6,268% dimana untuk mutu C syarat penyerapan air maksimal adalah 8%. Sedangkan untuk BB1 dan BB2 penyerapan air di bawah 6% dimana maksimal penyerapan air untuk mutu B adalah 6%. Sehingga ke semua sampel memenuhi persyaratan mutu sesuai SNI. Berdasarkan uji ANOVA, penyerapan air juga dipengaruhi oleh variasi campuran. Hal ini berarti penggunaan limbah keramik dengan mutu sumber keramik dengan penyerapan air yang berbeda akan memberikan pengaruh terhadap penyerapan air blok perkerasan yang dihasilkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perbedaan kualitas limbah keramik terhadap sifat mekanis blok perkerasan khususnya terkait kuat tekan dan penyerapan air. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa perbedaan kualitas mutu limbah keramik yang digunakan dalam campuran berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan blok perkerasan. Semakin tinggi kualitas dari sumber limbah keramik yang digunakan, maka kuat tekan blok perkerasan yang dihasilkan juga akan semakin tinggi.

Untuk kombinasi 2 (dua) limbah keramik yang digunakan juga berpengaruh terhadap kuat tekan. Kombinasi dari dua limbah keramik yang berbeda kualitas akan mengakibatkan penurunan nilai kuat tekan. Namun dari hasil pengujian yang dilakukan kombinasi 75% limbah keramik B1a dengan 25% limbah keramik B1b (BB2) memiliki kategori mutu yang sama dengan penggunaan 100% limbah B1a (BB3) yaitu mutu B yang dapat diaplikasikan untuk lahan parkir. Pemanfaatan kombinasi campuran BB2 juga sebagai solusi lebih sedikitnya limbah keramik jenis B1a dibandingkan dengan jenis keramik B1b.

Adapun pemanfaatan blok perkerasan untuk beban yang lebih ringan, seperti untuk pejalan kaki, penggunaan masing-masing 50% limbah keramik B1a dan B1b (BB1) dapat direkomendasikan. Sebagai kesimpulan akhir, pemanfaatan limbah ini tidak hanya dapat mengurangi kerusakan lingkungan, tetapi juga dapat menjaga kelestarian alam dengan melestarikan sumber daya alam yang ada.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya, dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan meningkatkan persentase penggantian pasir dengan limbah keramik hingga 50% atau lebih. Penelitian juga dapat dilakukan dengan membandingkan jenis limbah keramik lainnya dengan kualitas mutu yang berbeda. Pengujian dengan SEM-XRD juga patut dilakukan untuk lebih mengetahui mekanisme dari pengaruh limbah keramik terhadap peningkatan kekuatan blok perkerasan. Penelitian terkait pemanfaatan limbah industri perlu terus digalakkan agar

dapat mengurangi kebutuhan dunia konstruksi akan material dari alam. Serta dapat menjaga lingkungan dari akibat buruk penumpukan limbah industri yang tidak termanfaatkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang tak terhingga disampaikan kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam kelancaran penelitian hingga penulisan makalah ini. Terutama kepada Kepala Laboratorium Struktur dan Material, Dekan Fakultas Teknik ULM serta Instruktur di Laboratorium Struktur dan Material FT ULM yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini S, Nurul. 2014. "Pengaruh Kuat Tekan Paving Block Menggunakan Pasir Sungai dan Pasir Darat (Dalam Kasus Pasir di Gunung Merapi)." *Jurnal Jalan-Jembatan* 31 (3): 174–82.
- Awoyera, Paul O., Oladimeji B. Olalusi, Samuel Ibia, and Krishna Prakash A. 2021. "Water absorption, strength and microscale properties of interlocking concrete blocks made with plastic fibre and ceramic aggregates." *Case Studies in Construction Materials* 15 (September): e00677. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00677>.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 1996. *Bata Beton (Paving Block)*, SNI 03-0691-1996. Jakarta: BSN.
- . 2002. *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil*, SNI 03-6825-2002. Jakarta: BSN.
- . 2010. *Ubin keramik - Definisi, klasifikasi, karakteristik dan penandaan*, SNI ISO 13006:2010. Jakarta: BSN.
- Barkiah, Ida, dan Muhammad Yasin. 2020. "Nilai Konversi Uji Kuat Tekan Variasi Bentuk Paving Block Terhadap Bentuk Sampel Uji Sni 03-0691-1996." *Jurnal Teknologi Berkelanjutan (Sustainable Technology Journal)* 9 (2): 81–89.
- Deshariyanto, Dwi. dan Moh. Kurnia Akbar. 2020. "Efektifitas dan Konsistensi Alat Penumbuk Terhadap Mutu Paving Block." *Jurnal Ilmiah MITSU* 8 (1): 1–5. <https://doi.org/10.24929/ft.v8i1.920>.
- Dubale, Mandefrot, Gaurav Goel, Ajay Kalamdhad, and Laishram Boeing Singh. 2022. "An investigation of demolished floor and wall ceramic tile waste utilization in fired brick production." *Environmental Technology and Innovation* 25: 102228.

- <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102228>.
- Fathi, Ibtelhal Salem. 2014. "Effect of Using Crushed Limestone in Concrete Mixes as Fine Aggregate on Compressive Strength and Workability." In *International Conference on Civil, Biological and Environmental Engineering*, 40–44.
- Firmanti, Anita, Aventi, Dany Cahyadi, Aan Sugiarto, Bambang Sugiharto, dan Bambang Subiyanto. 2012. "Analisis Pengembangan Unit Produksi Conblock dan Paving Block Pembangunan Rumah Murah." *Jurnal Permukiman* 7 (1): 5–12.
- Hertwich, E., R. Lifset, dan N. Heeren. 2020. *Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future*. Nairobi: United Nations Environment Programme. <https://www.resourcepanel.org/reports/resource-efficiency-and-climate-change>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Didedit oleh B. Rama (eds.) [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
- Kumar, Anuj, dan Sanjay Kumar. 2013. "Development of paving blocks from synergistic use of red mud and fly ash using geopolymerization." *Construction and Building Materials* 38: 865–71. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.013>.
- Li, L. G., Z. Y. Zhuo, J. Zhu, and A. K.H. Kwan. 2020. "Adding ceramic polishing waste as paste substitute to improve sulphate and shrinkage resistances of mortar." *Powder Technology* 362: 149–56. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.11.117>.
- Multazzam, Kiagus Aldi, dan Priyanto Saelan. 2015. "Studi Mengenai Perancangan Komposisi Bahan dalam Campuran Mortar untuk Pembuatan Bata Beton (Paving Block)." *Reka Racana* 1 (1): 86–97.
- Muthusamy, Khairunisa, Mohamad Hafizuddin Rasid, Gul Ahmed Jokhio, Ahmed Mokhtar Albshir Budiea, Mohd Warid Hussin, and Jahangir Mirza. 2020. "Coal bottom ash as sand replacement in concrete: A review." *Construction and Building Materials* 236: 117507. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117507>.
- Nath, S. K. 2020. "Fly ash and zinc slag blended geopolymer: Immobilization of hazardous materials and development of paving blocks." *Journal of Hazardous Materials* 387: 121673. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121673>.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). 2019. *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences*. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>.
- Patil, Ashwini R., and Sheetal B. Sathe. 2020. "Feasibility of sustainable construction materials for concrete paving blocks: A review on waste foundry sand and other materials." *Materials Today: Proceedings* 43 (xxxx): 1552–61. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.402>.
- Penteado, Carmenlucia Santos Giordano, Eduardo Viviani de Carvalho, dan Rosa Cristina Cecche Lintz. 2016. "Reusing ceramic tile polishing waste in paving block manufacturing." *Journal of Cleaner Production* 112: 514–20. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.142>.
- Prasetya, Irfan. 2017. "Aplikasi Fly Ash Sebagai Bahan Campuran Batako Beton." Banjarmasin.
- . 2019. "Kajian Material Paving Hijau untuk Memperbaiki Daerah Tangkapan Air." In *Seminar Nasional Tahunan IV PSMTS ULM*, 89–95. Banjarmasin: LMU Press.
- Prasetya, Irfan, dan Wiku A Krasna. 2016. "Penelitian Teknologi Beton dengan Menggunakan Agregat Lokal Kalimantan Selatan."
- Prasetya, Irfan, dan Achmad Maulana. 2019. "Effects of crushed stone waste as fine aggregate on mortar and concrete properties." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 620: 012040. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/620/1/012040>.
- Prasetya, Irfan, Deny Pratama Putera, dan Ade Yuniati Pratiwi. 2022. "Mechanical Performance of Mortar and Concrete Using Borneo Wood Sawdust as Replacement of Fine Aggregate." In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 999. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/999/1/012001>.
- Prasetya, Irfan, dan M. Fahmi Rizani. 2019. "Analysis of fly ash from PLTU Asam-Asam as a construction material in terms of its physical and mechanical properties." *MATEC Web of Conferences* 280: 04013.

- <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928004013>.
- Prasetya, Irfan, M Syauqi, dan A S Aini. 2021. "Application of Central Kalimantan Coal Ash as a Sustainable Construction Material." In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 758. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/758/1/012011>.
- Putra, Arie, Alex Kurniawandy, dan Azhari. 2013. "Pengaruh Variasi Bentuk Paving Block Terhadap Kuat Tekan." Repository UNSRI, 1–8. <https://repository.unri.ac.id/handle/123456789/3997>.
- Putri, Aulia Zastavia, dan . Imastuti. 2017. "Pengaruh Penambahan Pecahan Keramik Pada Pembuatan Paving Block Ditinjau Dari Nilai Kuat Tekan." G - Smart 1 (1): 23. <https://doi.org/10.24167/g.s.v1i1.925>.
- Rashad, Alaa. 2016. "Cementitious materials and agricultural wastes as natural fine aggregate replacement in conventional mortar and concrete." Journal of Building Engineering 5: 119–41. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2015.11.011>.
- Ray, Sourav, Mohaiminul Haque, Sakib Ahmed Soumic, Ayesha Ferdous Mita, MD Masnun Rahman, and Bibhas B. Tanmoy. 2021. "Use of ceramic wastes as aggregates in concrete production: A review." Journal of Building Engineering 43 (April). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102567>.
- Rifai, Ahmad Lukman, Yudhi Arnandha, dan Anis Rakhmawati. 2019. "Pemanfaatan Limbah Keramik Sebagai Campuran Pembuatan Paving Block." Jurnal Rekayasa ... 1 (1).
- Rubio de Hita, P., F. Pérez Gálvez, M.J. Morales Conde, dan C. Rodríguez Liñán. 2017. "Reuse of Ceramic Demolition Waste in the Reconstruction of Planked Timber Floor Slabs." The Open Construction and Building Technology Journal 11 (1): 124–35. <https://doi.org/10.2174/1874836801711010124>.
- Septiandini, Erna, dan Ariana Sofiah. 2006. "Studi Mutu Bata Beton (Paving Block) yang Menggunakan Abu Puing Ubin Keramik Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen." MENARA, JURNAL TEKNIK SIPIL 1 (2): 200–212.
- Solouki, Abbas, Piergiorgio Tataranni, and Cesare Sangiorgi. 2022. "Mixture Optimization of Concrete Paving Blocks Containing Waste Silt." Sustainability (Switzerland) 14 (1): 0–15. <https://doi.org/10.3390/su14010451>.
- The Ministry of Environmental and Forestry Republic of Indonesia. 2022. The State of Indonesia 's Forests 2022 Towards FOLU Net Sink 2030. Diedit oleh SITI NURBAYA, Efransjah, Sri Murniningtyas, Erwinsyah, dan Muhammad Zahrul Muttaqin. The Ministry of Environment and Forestry, Republic of Indonesia The.
- Ulubeyli, Gulden Cagin, Turhan Bilir, dan Recep Artir. 2016. "Durability Properties of Concrete Produced by Marble Waste as Aggregate or Mineral Additives." In Procedia Engineering, 161:543–48. The Author(s). <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.689>.
- United Nations Environment Programme (UNEP). 2022. 2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi. www.globalabc.org.
- Witarso, WS, dan Lasino. 2015. "Pengaruh Penambahan Abu Terbang Pada Paving Block Berbahan Baku Tailing Asbuton." Jurnal Jalan-Jembatan 32 (1): 54–60. http://jurnal.pusjatan.pu.go.id/index.php/jurnal_jalanjembatan/article/view/164.
- Yanita, Rachmi, dan Gufron Andreas. 2017. "Manfaat Faktor Konversi untuk Pengujian Kuat Tekan Paving-Block." Jurnal IPTEK 1 (2): 79–87. <https://doi.org/https://doi.org/10.31543/jii.v1i2.119>.